

V TOMTO SEŠITĚ

Mezinárodní setkání radioamatérů..... 1

OSMIPÁSMOVÝ EKVALIZER A ANALYZÁTOR SPEKTRA, ŘÍZENÝ MIKROPROCESOREM

Blokové schéma 2

Popis funkčních bloků 3

Vstupní jednotka 3

Výpočet rezonančních obvodů 3

Výpočet regulačního obvodu 7

Řídicí jednotka 8

Frekvenční analyzátor 12

Převodníky A/D 12

Displej a zobrazování 15

Oddělovací deska 16

Napájecí obvody 16

Konstrukce 16

Parametry 18

Desky s plošnými spoji 19

NF ZESILOVAČ, ŘÍZENÝ MIKROPROCESOREM

Blokové schéma a propojení bloků 29

Popis funkčních bloků 30

Vstupní jednotka 30

Koncový stupeň 32

Řídicí jednotka 36

Doplňkové obvody 38

Napájení 39

Parametry 40

KONSTRUKČNÍ ELEKTRONIKA A RADIO

Vydavatel: AMARO spol. s r. o.

Redakce: Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel.: 24 21 11 11 - I. 295, tel./fax: 24 21 03 79.

Šéfredaktor Luboš Kalousek, sekretářka redakce Tamara Trnková.

Ročně vychází 6 čísel. Cena výtisku 25 Kč. Pololetní předplatné 75 Kč, celoroční předplatné 150 Kč.

Rozšiřuje PNS a. s., Transpress s. s. r. o., Mediaprint a Kapa, soukromí distributoři, informace o předplatném podá a objednávky přijímá Amaro s. s. r. o., Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel./fax 24 21 1111, I. 284, PNS, pošta, doručovatel.

Objednávky a předplatné v Slovenskej republike vybavuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., P. O. BOX 169, 830 00 Bratislava, tel./fax (07) 5254559 - předplatné, (07) 5254628 - administrativní. Předplatné na rok 165,- SK.

Podávání novinových zásilek povolila jak Česká pošta s. p., OZ Praha (čj. nov 6028/96 ze dne 1. 2. 1996).

Inzerce přijímá redakce ARadio, Dlážďená 4, 110 00 Praha 1, tel.: 24 21 11 11 - linka 295, tel./fax: 24 21 03 79.

Inzerce v SR vyřizuje MAGNET-PRESS Slovakia s. r. o., Teslova 12, 821 02 Bratislava, tel./fax (07) 5254628.

Za původnost a správnost příspěvků odpovídá autor. Nevyžádané rukopisy nevracíme.

E-mail: a-radio@login.cz

Internet: http://www.spinnet.cz/aradio

ISSN 1211-3557

© AMARO spol. s r. o.

Mezinárodní setkání radioamatérů ve Vysokých Tatrách

Ve dnech 15. - 17. listopadu 1996 se konalo Mezinárodní setkání radioamatérů ve Vysokých Tatrách, pořádané Slovenským svazem radioamatérů (SZR).

Za Český radioklub se ho zúčastnili Vašek Všetěčka, OK1ADM, a Sveta Majce, OK1VEY. Delegaci doplnili přednášející Radek Václavík, OK2XDX, a Pavel Lajšner, OK2UCX, v oblasti provozu paket rádia (PR) a František Janda, OK1HH. Mimo oficiální delegaci přijela do Vysokých Tater asi desítky radioamatérů z OK, dále radioamatérů z Maďarska, Polska, Rakouska, Ukrajiny a Ruska.

Setkání probíhalo v Tatranských Matliaroch v hotelu Hutník s výhledem na Lomnický štít. Ubytováno zde bylo na 300 účastníků a další asi stovka jich přijela jen na sobotu. Všichni si velmi pochvalovali výborné stravování. Také počasí se v sobotu umoudřilo a z mraků vystupily i vrcholky Tater.

Zahájení proběhlo v sobotu dopoledne v hotelové tělocvičně. Pro náhlou nevolnost prezidenta SZR Tono Mráze, OM3LU, setkání zahájil a přítomné přivítal Štefan Horecký, OM3JW. Na setkání byla pozvaná oficiální delegace maďarských a českých radioamatérů. Za delegaci Českého radioklubu (ČRK) promluvil při zahájení Vašek Všetěčka, OK1ADM. Ve svém projevu seznámil přítomné s výsledky jednání loňského sjezdu ČRK (říjen 1996), s členskou základnou ČRK, s principem organizace QSL služby v České republice a s dalšími členskými službami ČRK. Delegace obdržela od pořadatelů na památku obrazovou publikaci Slovensko.

Členové delegace ČRK se pak zúčastnili jednání různých sekcí a komisí. Radek, OK2XDX, a Pavel, OK2UCX, přednesli v zaplněné klubovně přednášku o rychlých linkách pro síť paket rádia. Na sobotní odpoledne byla při-

pravena celá řada přednášek: o radioamatérských koncesích v USA informoval OM3EN, Old Timers Club vedl OM1AA a své zkušenosti s radioamatérským deníkem pro PC - programem od K1EA předával OM2TW. O anténách hovořil OM3MY, o DX provozu OM3JW, UA3AB a DJ3DXX. Několik přednášek se týkalo také provozu paket rádia. S programem TOP seznámil přítomné OM5RA, o budoucnosti PR a rychlých linkách pohovořili OK2UCX a OK2XDX.

Na přednášku potom navázalo zasedání slovenské Rady Sysopů pod vedením Romana, OM3EI, kde se diskutovala problematika zahušťování sítě PR.

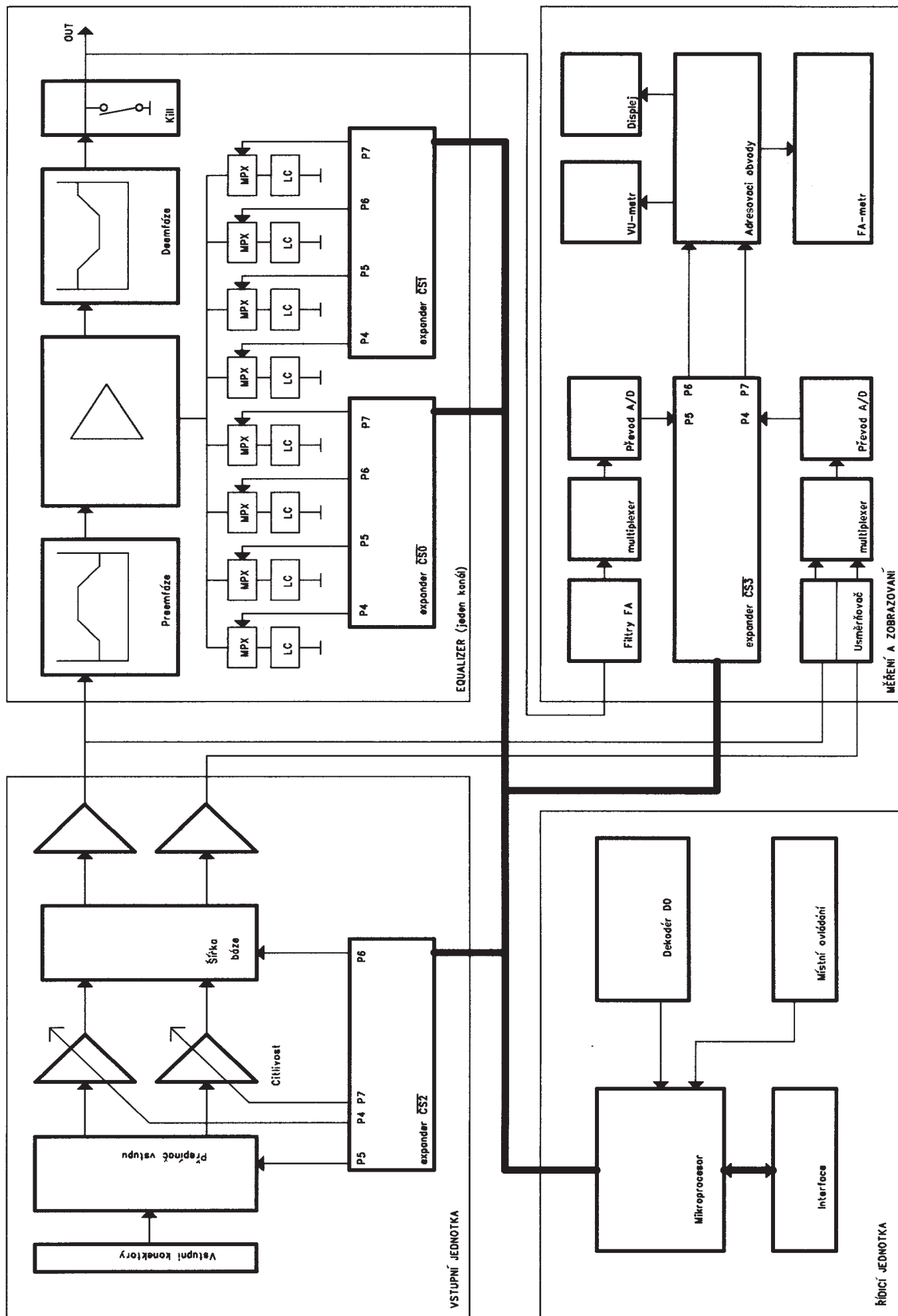
Během dopoledne probíhaly také zkoušky nových adeptů na radioamatérské licence, burza všeho možného i nemožného (viz foto). Své stánky tam měly rakouské firmy Point Electronic a Funktechnik Böck.

Sobotní večer patřil jako obvykle společenskému setkání - hamfestu, kde se rozdávaly ceny nejlepším účastníkům kontestu TATRY, ale kde probíhala i tombola „inkurantního“ materiálu na pokračování. To vše samozřejmě proloženo tancem a přátelskými besedami.

Celé setkání probíhalo ve velmi přátelském duchu a delegace českých radioamatérů byla na každém kroku zabezpečována, že politická hranice české a slovenské radioamatéry nijak nerozdělila. Vašek, OK1ADM, domlouval další spolupráce v oblasti kontestů. Sveta, OK1VEY, projednal vybudování dalších linek paket rádia, spojujících síť v České a Slovenské republice. Zástupci SZR přijali pozvání na příští radioamatérské setkání do Holic (bude se konat 29. až 30. srpna 1997) a delegace ČRK přislíbila účast i na příštím setkání v Tatrách.

Sveta, OK1VEY, a Radek, OK2XDX





OSMIPÁSMOVÝ EKVALIZER A ANALYZÁTOR SPEKTRA, ŘÍZENÝ MIKROPROCESOREM

Ing. Ladislav HAVLÁT

Zvukové spektrum, které je člověk schopen vnímat, sahá za jistých podmínek od kmitočtu asi 16 Hz do kmitočtu asi 20 kHz. Přitom samostatné sinusové tóny se v přirozeném zvuku téměř nevyskytují. Jsou sice ve výsledném spektru zastoupeny, ale směřují se s dalšími zvukovými signály, jejichž kmitočty jsou násobky kmitočtu základního tónu a nazývají se vyšší harmonické. Kromě těchto vyšších harmonických mohou být ve výsledném kmitočtovém spektru v malé míře také signály s nižším kmitočtem než jaký má základní signál - to jsou tzv. subharmonické.

Všeobecně je možné říci, že zvuk je složen ze seskupení základních tónů a jejich harmonických složek, které vytvářejí barvu každého tónu. Je třeba poznamenat, že v některých případech nemusí ve složeném zvuku převládat složka základního tónu, ale naopak někdy není téměř zastoupena. Z toho vyplývá, že každý zvuk lze určit podle poměru zastoupení základní složky a vyšších harmonických složek. Oblast přirozených hudebních základních tónů se pohybuje přibližně od 60 Hz do asi 4200 Hz s výjimkou nástrojů elektronických. Na výsledné spektrum zvuku má vliv nejen vlastní zdroj, ale také prostor, v němž zvuk vzniká, vlastnosti přenosové cesty a také vlastnosti samotného poslechového prostoru. Proto je potřebné a většinou nevyhnutelné uměle změnit vlastnosti přenosové cesty tak, aby se vyrovnala nevhodná výsledná kmitočtová charakteristika prostoru, případně elektroakustického měniče či přímo reprodukováného zvuku. K tomuto účelu slouží korektory kmitočtové charakteristiky. K nim patří nejruznější druhy korektorů od nejjednodušších regulátorů hloubek a výšek až po složité digitální korektory se signálovými procesory. V tomto čísle Konstruktivní elektroniky je uveden příklad návrhu osmipásmového oktávového ekvalizeru, jehož hlavní odlišnost od přístrojů klasické koncepce spočívá v řízení celého přístroje pomocí mikroprocesoru, což přináší větší komfort ovládání a možnost optimalizovat obvodové struktury, aby bylo dosaženo maximálních technických parametrů. Přístroj je vybaven pamětí EEPROM, proto zvolené korekční křivky zůstávají v paměti, odkud je lze kdykoliv vyvolat, změnit a opět uložit. V přístroji je také vestavěn spektrální analyzátor pro kontrolu zpracovávaného signálu.

Dále je zde možnost připojit až osm zdrojů signálu, neboť přístroj má osm vstupů s nastavitelnou citlivostí. Přístroj je možno plně ovládat infračerveným dálkovým ovládáním, popř. i počítačem. Výhody této koncepce jsou tedy zřejmé a technické parametry přístroje umožňují použití od kvalitních sestav pro bytové ozvučování až po profesionální nároky na korekce signálu.

Popis funkčních bloků

Vstupní jednotka

Popis zapojení

Zapojení vstupní jednotky je na obr. 2 (str. 4). Na vstupu je osmikanálový dvojitý multiplexer, určený pro volbu vstupu. Zesilovač U4A slouží jako vstupní s citlivostí nastavitelnou v osmi stupních po 4 dB. Lze tedy na vstupy přivádět signály s úrovní 0,062 až 1,55 V. Vstup č. 8 má předřazen předzesilovač pro mikrofon nebo jiný zdroj signálu s velmi malou úrovní (obr. 2a). Jeho zesílení závisí na impedanci připojovaného zařízení, pro 600 Ω je vstupní citlivost 0,8 až 20 mV. Zesilovač U4A má dále ve zpětné vazbě zapojen obvod pro nastavení šířky stereofonní báze. Je možné nastavit čtyři stupně: od spojení obou kanálů po „rozšířené stereo“. Při „rozšířeném stereo“ se zavádí do kanálů záporný přeslech -6 dB. Stejnoseměrný offset operačních zesilovačů se vykompenzuje potenciometrem P1. Celá vstupní jednotka je řízena expanderem U5.

Výpočet zpětnovazební sítě

Zesílení vstupní jednotky se nastává zpětnovazební sítí, skládající se z odporového žebříčku (rezistory R33 až R46, obr. 2). Výhodou tohoto řešení je omezený počet odporů rezistorů (tři) při neomezeném počtu stupňů zesílení. Při výpočtu vyjdeme ze zapojení na obr. 1.

Pro tento obvod lze psát :

$$R_e = R_a + R_b \cdot R_e / (R_b + R_e) \quad (1)$$

$$k = \frac{R_b \cdot R_e}{R_a + R_b \cdot R_e / (R_b + R_e)} \rightarrow R_b \quad (2)$$

Po dosazení vztahu (2) do (1) dostaneme :

$$R_e = R_a \cdot R_e - R_a^2 / (1 + R_a / R_e - 1/k) \rightarrow R_a, R_b \quad (3)$$

Po zjednodušení dostaneme konečné výrazy :

$$R_a = R_e (1 - k) \quad (4)$$

$$R_b = R_e \cdot k / (1 - k) \quad (5)$$

Nahradíme-li odpor paralelní kombinace R_b a R_e na konci žebříčku zakončovací rezistorem, jeho odpor bude :

$$R_z = R_e - R_a \quad (6)$$

kde k je přenos mezi sousedními členy žebříčku,

R_e vstupní odpor žebříčku,

R_z zakončovací odpor žebříčku.

Můžeme tedy vypočítat skutečné odpory rezistorů. Útlum na stupeň $k = 4$ dB, tedy $k = 0,631$, vstupní odpor žebříčku volíme $R_e = 10$ kΩ a po dosazení dostáváme :

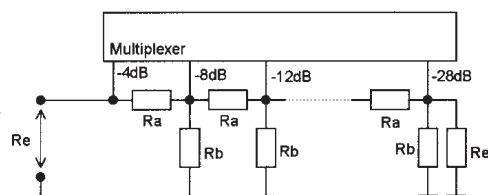
	R_a	R_b	R_z
vypočteno	3690	1709	6310
zvoleno	3600	1800	6200

Vystačíme tedy se třemi odpory rezistorů. Pro správný dělicí poměr je třeba, aby odporová síť byla co nejméně zatížena. Ve skutečném zapojení odporový dělič řídí pouze střídavé zesílení. Stejnoseměrná složka má zesílení jedna. Pro dosažení vyrovnané kmitočtové charakteristiky v oblasti nejnižších kmitočtů (pod 10 Hz) je třeba dodržet hodnoty R29, R18, C2, C4.

Výpočet rezonančního obvodu

Určení šířky pásma

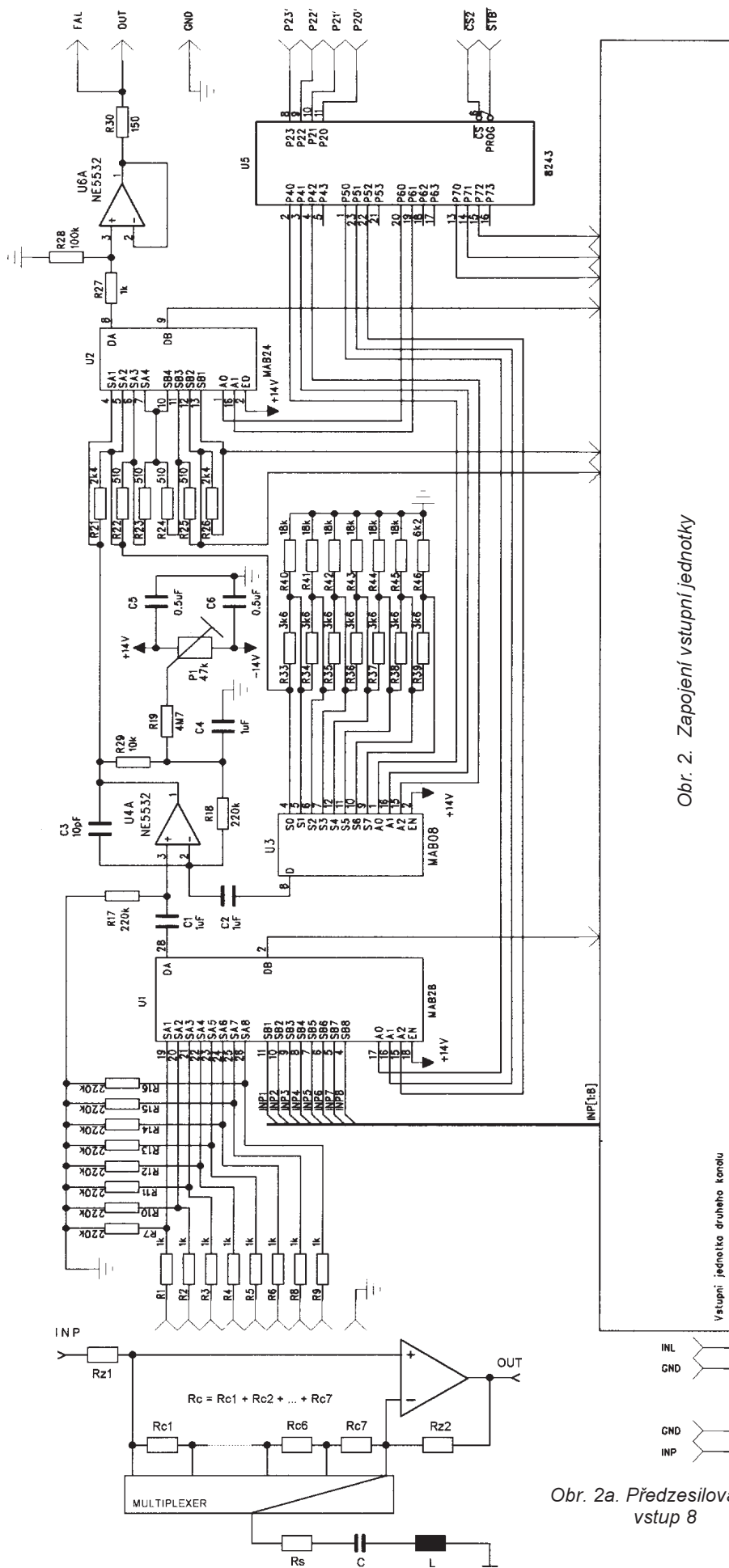
Při návrhu filtru musíme vycházet z potřebné šířky pásma, která má být regulována jedním rezonančním obvodem. Tato šířka pásma musí být úměrná celkovému přenášenému pásmu ekvalizeru (např. 20 Hz až 20 kHz) a počtu pásem (např. oktávový bude mít pásem asi 10 a to např.: 31, 25, 62,5, 125, 250, 500 Hz, 1, 2, 4, 8, 16 kHz). Bude tedy oktávový ekvalizer potřebovat zřejmě větší šířku pásma než třetinooktávový, který má pásem např. 31. Dále si musíme definovat, co to znamená šířka pásma. Tento pojem lze definovat takto: Je to vzdálenost kmitočtů pod a nad rezonanč-



Obr. 1. Zapojení odporové sítě

1
97

KONSTRUKČNÍ
ELEKTRONIKA
ARadio



Obr. 2. Zapojení vstupní jednotky

ním kmitočtem filtru (mezních kmitočtů), pro které je přenos o 3 dB menší než přenos na rezonančním kmitočtu při maximálním zdvihu tohoto pásma. Při návrhu filtrů však stojíme před opačným problémem. Známe šířku pásma (je dána typem ekvalizeru: oktavový, třetinooktavový apod.) a musíme volit právě toto menší zesílení na mezních kmitočtech. Volbou tohoto zesílení ovlivňujeme na jedné straně vzájemné prolínání se sousedních pásem a na druhé straně zvlnění výsledné křivky při nastavení všech regulátorů na maximum nebo minimum (ideální by bylo dostat lineární průběh). Lze tedy říci, že podle definice by měl být pokles na mezních kmitočtech 3 dB. V praxi se však lze setkat i s daleko větším poklesem. Je-li však pokles příliš velký, je zvlnění výsledné charakteristiky také příliš veliké s negativním dopadem na subjektivní kvalitu reprodukce.

Daná šířka pásma elektricky závisí na poměru L/C (jakosti) rezonančního obvodu. Musíme tedy do výpočtu zahrnout jak vlastní rezonanční kmitočet f_0 filtru, tak jakost obvodu. Vyjdeme z náhradního schématu ekvalizeru na obr. 3. Toto schéma platí při nastavení regulátoru na maximum a to je případ, který nás zajímá. Impedance Z je vlastní sériový rezonanční obvod $RsLC$. Ve skutečnosti je rezonančních obvodů několik. Předpokládáme však vzájemnou nezávislost rezonančních obvodů a proto na daném kmitočtu uvažujeme pouze jeden.

$$k = A_{uf0}/A_{uf} = (1 + (Rz/Z_0)) / (1 + (Rz/Z)) \quad (7)$$

tedy

$$Z = kRz / (1 - k + Rz/Rs) \quad (8)$$

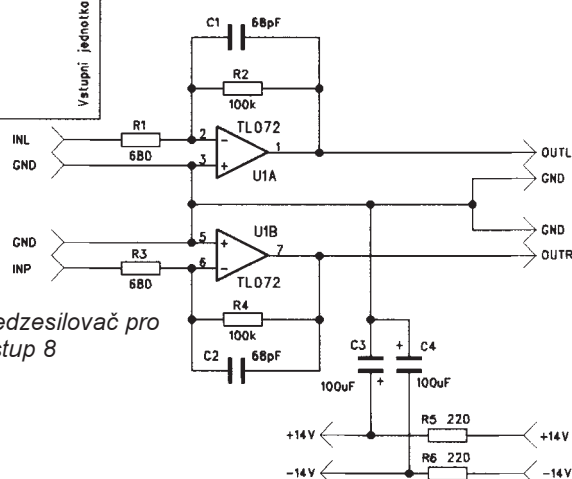
Na rezonančním kmitočtu je impedance Z_0 rovna Rs , můžeme tedy vztah upravit

$$Z = kRz / (1 - k + Rz/Rs) \quad (9)$$

přičemž toto je hledaná impedance na mezním kmitočtu při poklesu k zesílení. Impedance je složena ze dvou složek, z odporu Rs a reaktance součástek LC . Je tedy

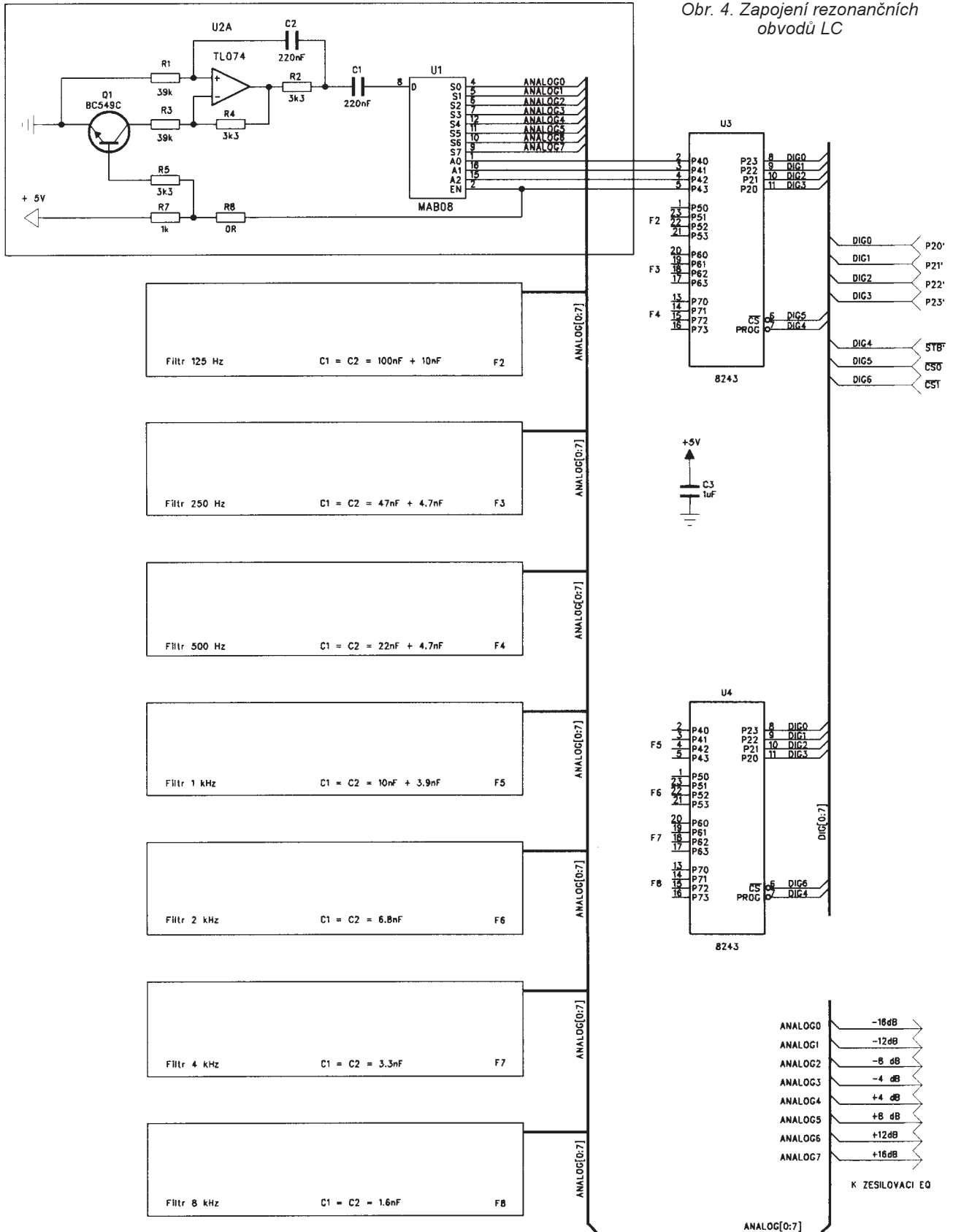
$$Z = \sqrt{X_{LC}^2 + Rs^2} \quad (10)$$

vypočítáme imaginární složku (reaktanci LC) $Z_{IM} = X_{LC}$



Obr. 2a. Předzesilovač pro vstup 8

Obr. 4. Zapojení rezonančních obvodů LC



$$X_{LC} = \sqrt{Z^2 - R_s^2} \quad (11)$$

po dosazení dostáváme

$$X_{LC} = jX_L - jX_C = j2\pi fL - j\frac{1}{2\pi fC} \quad (12)$$

$$X_{LC} = 2\pi fL - \frac{(2\pi f_0)^2 L}{2\pi f} = 2\pi L(f - f_0^2 / f) \quad (14)$$

máme tedy pouze jednu rovnici pro dvě neznámé, mezi nimi však platí rezonanční podmínka

→ L
po úpravě a dosazení (8) do (11) a (11) do (14) dostáváme výsledný vztah

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \rightarrow C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} \quad (13)$$

$$L = \frac{X_{LC}}{2\pi(f - f_0^2 / f)} =$$

$$= \frac{\sqrt{\left(\frac{kRz}{1 - k + Rz / Rs}\right)^2 - R_s^2}}{2\pi(f - f_0^2 / f)} \quad (15)$$

$$C = \frac{1}{(2\pi f_0)^2 L} \quad (16)$$

Pozn.: Počítáme indukčnost a proto je třeba dosadit za f horní mezní kmitočet, neboť při něm má obvod $RsLC$ indukční charakter, kdybychom volili dolní mezní kmitočet, vyšla by indukčnost záporná.

Použité symboly :

f je horní mezní kmitočet filtru,

f_0 rezonanční kmitočet filtru,

R_z zpětnovazební odpor,

R_s sériový odpor rezonančního obvodu,

Z modul impedance rezonančního obvodu na kmitočtu f ,

Z_0 modul impedance rezonančního obvodu na f_0 ,

X_{LC} imaginární složka impedance Z ,

k poměr mezi zesílením na f_0 a f (zmenšení zisku).

Výpočet kapacit kondenzátorů a indukčností cívek

Popisovaný přístroj je oktavový ekvalizer, z čehož plyne poměr mezních kmitočtů filtru. Tedy mezní kmitočty budou např. pro filtr 1 kHz: $f_d = 1000/\sqrt{2} = 707$ Hz a $f_h = 1000\sqrt{2} = 1414$ Hz. Zesílení signálů mezních (tedy dělicích) kmitočtů volíme menší o 6 dB. Je to více než bylo uvedeno, výsledné zvlnění kmitočtové charakteristiky je však stále v přijatelných mezích. Důvodem této volby je, že v sérii s rezonančním obvodem $RsLC$ je ještě odpor multiplexeru. Odpor multiplexeru sice nezávisí na napětí, ale může částečně záviset na procházejícím proudu. Proto by případná změna odporu vnesla do zařízení přidavné zkreslení. Bude-li šířka pásma menší, dosáhneme tím účinnějšího potlačení harmonických složek proudu a tak zmenšíme vliv nedokonalostí odporu multiplexeru (viz článek Volba multiplexerů). Při výpočtu použijeme odvozené vzorce (15) a (16). Do vzorce (15) dosazujeme za $k = 2$ (6 dB), $f_0 = 62,5 \dots 8000$ Hz, $R_z = 18000 \Omega$, $R_s = 3300 \Omega + R_{MPX}$, $R_{MPX} = 380 \Omega$. Výpočtené údaje jsou v tab. 1.

Syntetická indukčnost

Jednou z důležitých částí ekvalizeru je rezonanční obvod LC . Protože není dost dobře možné použít klasic-

Tab. 1. Kapacity a indukčnosti rezonančních obvodů

Kmitočet [Hz]	Indukčnost L [H]	Kapacita C [nF]	Skutečná kapacita (zvolená) [nF]
62,5	30,6	212	220
125	15,3	106	100+10
250	7,64	53	47+4,7
500	3,82	26,5	22+4,7
1000	1,91	13,3	10+3,9
2000	0,96	6,6	6,8
4000	0,48	3,3	3,3
8000	0,24	1,7	1,6

kou vinutou cívku (např. z důvodu přítomnosti rušivých magnetických polí, jejichž dokonalé odstínění není prakticky možné), musí být indukčnost řešena jiným způsobem. Možná varianta řešení je na obr. 7.

Tento obvod převádí impedanci typu RC na impedanci typu RL . Pro výpočet obvodu budeme předpokládat ideální operační zesilovač. Můžeme psát tyto vztahy:

$$k = 1 + R_4/R_3 \quad (17)$$

$$I_1 = U_2/(R_1 + 1/j\omega C) \quad (18)$$

$$I_2 = \frac{U_2 - U_p}{R_2} = \frac{U_2}{R_2} = \frac{j\omega CR_1 k U_2}{R_2(1 + j\omega CR_1)} \quad (19)$$

spojením (18) a (19) dostaneme :

$$Z = \frac{U_2}{I_1 + I_2} = \frac{R_2 + j\omega CR_1 R_2}{1 + (1 - k)j\omega CR_1 + j\omega CR_2} \quad (20)$$

dosazením (17) do (20) je

$$Z = \frac{R_2 + j\omega CR_1 R_2}{1 - (R_4/R_3)j\omega CR_1 + j\omega CR_2} \quad (21)$$

Na výsledném výrazu (21) vidíme, že pro ideální náhradu skutečné cívky ve tvaru

$$Z = R_2 + j\omega CR_1 R_2 \quad (22)$$

musí být jmenovatel roven 1

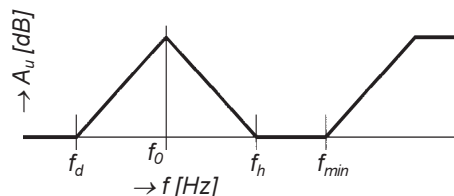
$$1 - (R_4/R_3)j\omega CR_1 + j\omega CR_2 = 1 \quad (23)$$

po úpravách dostaneme

$$R_4/R_3 = R_2/R_1 \quad (24)$$

tento poměr musí být zachován při návrhu obvodu.

Předchozí vztahy platí naprosto přesně, budeme-li uvažovat ideální operační zesilovač, který má zesílení



Obr. 6. Závislost regulace na kmitočtu

nezávislé na kmitočtu a blízké nekonečnu. Přejdeme-li na zapojení se skutečným zesilovačem, musíme uvažovat určitá omezení. Zisk zesilovače se se zvyšujícím se kmitočtem zmenšuje a tím přestává být činitel $k = 1 + R_4/R_3$ a tím jmenovatel (21) roven 1, tedy na vyšších kmitočtech již není indukčnost obvodu dána jednoduchým vztahem (22). Nastává situace, jako by byl paralelně k indukčnosti připojen další ztrátový odpor. Pro nejvyšší kmitočty je velikost tohoto odporu rovna přibližně odporu R_2 . Lze to dokázat rozбором vztahu (21). To tedy v konečném důsledku znamená, že filtr nalaďený na kmitočet např. 100 Hz bude částečně ovlivňovat i signály kmitočtů např. 10 kHz a vyšších, obr. 6. Jaký nejnižší kmitočet bude tímto nežádoucím způsobem regulován, závisí zásadní mírou na kvalitě (mezním kmitočtu) operačního zesilovače.

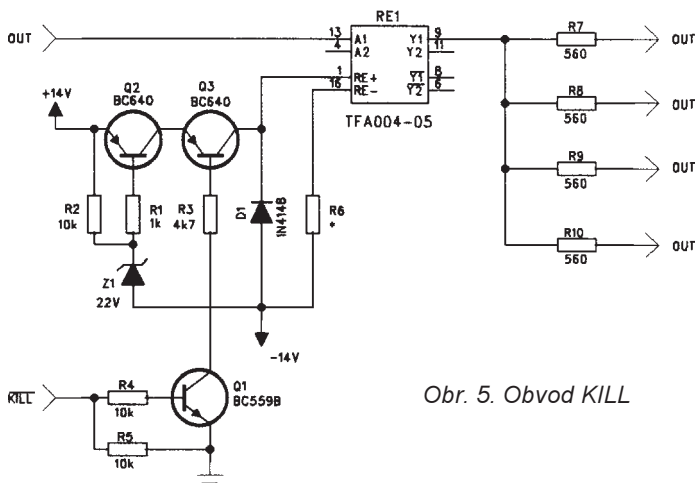
V žádném případě by to neměly být pomalé operační zesilovače typu xx741 apod. Při typu TL074 se toto rušivé ovlivňování posouvá spolehlivě nad horní konec akustického pásma.

Výpočet obvodových prvků syntetické indukčnosti

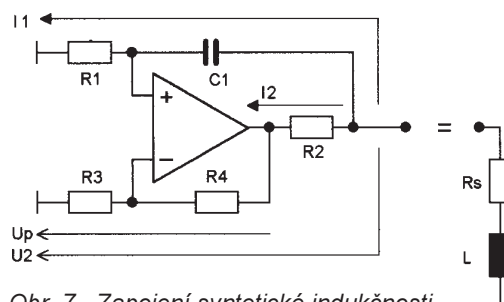
Použijeme již odvozené vztahy a údaje z tab. 1; $R_2 = R_s = 3300 \Omega$. Musí platit $R_4/R_3 = R_2/R_1$ a proto volíme $R_4 = R_2$ a $R_3 = R_1$. Ve vztahu

$$Z = R_2 + j\omega CR_1 R_2$$

jsou celkem dvě volitelné proměnné, kapacita C a odpor R_1 , můžeme tedy výhodně ponechat kapacitu stejnou jako je skutečná kapacita v tab. 1, tím



Obr. 5. Obvod KILL



Obr. 7. Zapojení syntetické indukčnosti

Tab. 2. Údaje obvodových prvků syntetické indukčnosti (R1 až R4 v [kΩ])

Kmitočet [Hz]	R1	R2	R3	R4	C [nF]
62,5	39	3,3	39	3,3	220
125	39	3,3	39	3,3	100+10
250	39	3,3	39	3,3	47+4,7
500	39	3,3	39	3,3	22+4,7
1000	39	3,3	39	3,3	10+3,9
2000	39	3,3	39	3,3	6,8
4000	39	3,3	39	3,3	3,3
8000	39	3,3	39	3,3	1,6

sestavíme rezonanční obvody s co nejmenším počtem kondenzátorů různých kapacit.

Ve schématu rezonančních obvodů LC (str. 5) si můžeme povšimnout tranzistoru Q1, zapojeného mezi zem a invertující vstup operačního zesilovače. Jeho úkolem je odstranit rozkmitání syntetické indukčnosti, není-li výstup rezonančního obvodu připojen na regulační odporovou síť. Tento stav nastane tehdy, je-li dané pásmo nastaveno na lineární přenos. Potom není výstup D obvodu U1 nikam připojen a tím vlastně není nikam připojen ani výstup syntetické indukčnosti. Potom představuje cesta R2CR₁ kladnou zpětnou vazbu, jejíž přenos je dán poměrem

$$R1/(R1 + R2) \text{ pro } X_C = 0 \quad (25)$$

a cesta R4R3 zápornou zpětnou vazbu, jejíž přenos je dán poměrem (R4/R3)/R3

$$(26)$$

celkové zesílení je dáno součinem těchto dvou vazeb a je tedy

$$R1/(R1 + R2)(R4 + 3)/R3 = 1 \quad (27)$$

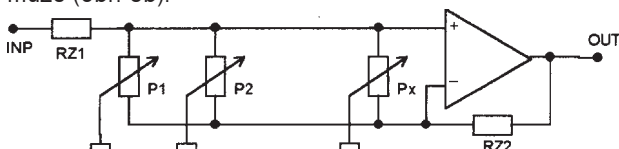
což za předpokladu, že R4 = R2 a R3 = R1, můžeme zapsat jako

$$R1/(R1 + R2)(R2 + R1)/R1 = 1 \quad (28)$$

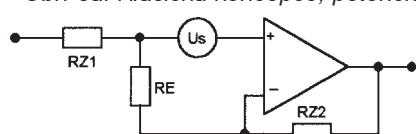
Jsmo tedy na hranicích stability. Za předpokladu minimálních tolerančních odchylek odporů rezistorů se dostaneme do nestabilní oblasti obvodu a ten se rozkmitá relaxačními obdélníkovými kmity, neboť jen tehdy je X_C = 0. Proto se používá tranzistor Q1, který vyřadí z obvodu R3 a výraz nabude podoby pro R3 = ∞

$$R1/(R1 + R2)(R4 + R3)/R3 < 1 \quad (29),$$

tedy vždy menší než jedna. Samozřejmě, když je výstup zatížen regulační odporovou sítí, obvod se rozkmitat nemůže (obr. 8b).



Obr. 8a. Klasická koncepce, potenciometry paralelně



Obr. 8c. Náhradní zapojení vstupu pro výpočet šumu (RE je paralelní kombinace odporů potenciometrů)

Výpočet prvků regulačního obvodu

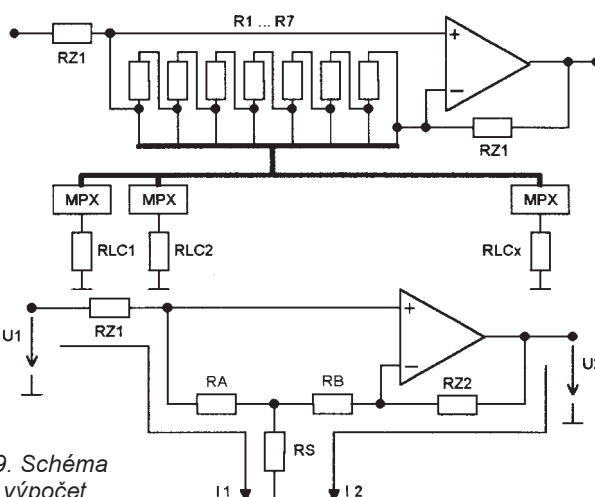
Šumové vlastnosti obvodu

Při řešení vycházíme z náhradního zapojení vstupu operačního zesilovače. Předpokládáme ideální zesilovač se zdrojem šumu mezi vstupy, dále předpokládáme, že na vstup ekvalizoru není přiváděn žádný signál, je tedy uzemněn a regulátory jsou ve střední poloze. Popíšeme-li tento obvod matematicky, dospějeme ke vztahu pro přenos šumového napětí U₀ na výstup (obr. 8a)

$$U_0 = U_s \frac{RZ1 + RZ2}{RE} \quad (30)$$

Vidíme tedy, že pro minimální šum obvodu musíme volit RE co největší (RZ je dán požadovaným regulačním zdvihem). Přitom jsou odpory potenciometrů většinou řazeny paralelně. Zde však vyvstává další problém. Pokud bychom použili k regulaci klasické tahové potenciometry s lineárním průběhem odporové dráhy a s velkým odporem, byla by závislost zesílení či zeslabení toho kterého pásma na poloze běžce velice nevhodná. Regulace by se posunula ke krajům odporové dráhy a uprostřed dráhy by změna přenosu byla nepatrná. Pokud bychom požadovali lineární závislost (v dB) na poloze běžce potenciometru, musel by potenciometr mít záporný odpor! Tato skutečnost se velice často opomíjí u amatérských i profesionálních zařízení a lineární stupnice jsou často

Obr. 8b. Potenciometry jsou nahrazeny odporovou sítí a multiplexery →



Obr. 9. Schéma pro výpočet

zcela samozřejmé. Jsou tedy linearita regulace a šum otázkou kompromisu. Problém lze vyřešit např. potenciometrem se symetricky nelineární dráhou, je to však řešení velice těžce prakticky realizovatelné pro nedostupnost takových potenciometrů.

V našem případě můžeme velice elegantně tyto dva protichůdné požadavky splnit. Místo souvislé odporové dráhy potenciometru používáme sériově zapojené rezistory a místo plynulé regulace regulaci skokovou. Lze si tedy průběh odporové dráhy vytvořit libovolně tak, jak potřebujeme, vhodnou volbou odporů rezistorů. Místo běžce potenciometru je použit multiplexer a tak můžeme vlastně jednu „odporovou dráhu“ použít pro všechny filtry, čímž odpadne problém se zmenšováním odporu RE vlivem paralelního řazení potenciometrů.

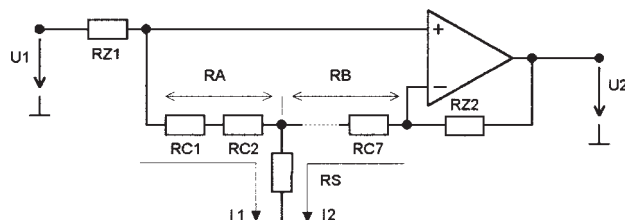
Náhrada potenciometrů odporovou sítí

Při náhradě vycházíme z obr. 9. Požadujeme rozsah regulace +16 dB až -16 dB. Regulovat budeme v osmi stupních a to +16, +12, +8, +4, -4, -8, -12, -16 dB. Zvláštní bude devátý stupeň, při němž je rezonanční obvod zcela odpojen (pomocí signálu EN multiplexeru) - bude tedy nastaven lineární přenos. Podle maximálního zdvihu 16 dB volíme odpory R_s, RZ1 a RZ2. Nejprve odpor R_s, který určuje maximální proud přes multiplexer. Velikost proudu I_{MPX} by neměla být větší než 500 μA, aby byl odpor multiplexeru dostatečně lineární. Uvažujeme nejnejpříznivější případ (max. zdvih). Tehdy přes R_A neteče žádný proud (napětí mezi vstupy operačního zesilovače je nula), R_B = 0 Ω, napětí na invertujícím vstupu je tedy rovno vstupnímu napětí, to je 1,55 V a pro I_{MPX} = I₂ = 500 μA vychází:

$$R_s = U_1/I_{MPX} = 1,55/500 \cdot 10^{-6} = 3100 \Omega \quad (31)$$

Zvolíme tedy R_s = 3300 Ω. Dále můžeme vypočítat RZ1 a RZ2, neboť známe max. zdvih 16 dB = 6,31 a platí, že

Obr. 10. Schéma pro určení dílčích odporů



$$A_u = 1 + RZ/R_s \rightarrow RZ = R_s(A_u - 1) = 17\,523\,\Omega \quad (32)$$

Protože požadujeme zdvih i potlačení pásem stejné, volíme $RZ1 = RZ2 = 18\,\text{k}\Omega$. Zbývá určit odpor fiktivního potenciometru. S ohledem na šum obvodu volíme $RC = RZ1 = RZ2 = 18\,\text{k}\Omega$. Nyní můžeme přistoupit k vlastnímu výpočtu odporové sítě. Musíme rozdělit odpor RC na sedm dílčích rezistorů s odpory $RC1$ až $RC7$.

Pro schéma na obr. 10 můžeme psát:

$$U_1 = I_1(RZ1 + RA) + R_s(I_1 + I_2) \quad (33)$$

$$U_2 = I_2(RZ2 + RA + R_s(I_1 + I_2)) \quad (34)$$

dále platí:

$$I_1RA - I_2RB = 0 \rightarrow I_2 = I_1RA/RB \quad (35)$$

$$RA + RB = RC \rightarrow RB = RC - RA \quad (36)$$

$$A_u = U_2/U_1 \quad (37)$$

dosazením rovnic (33) až (36) do (37) a po úpravách dostaneme

$$A_u = \frac{RARZ2 + R_sRC + RARC - RA2}{RZ1RC - RZ1RA + R_sRC + RARC - R^2A} \quad (38)$$

jedinou neznámou RA vypočteme úpravou tohoto vztahu na kvadratickou rovnici:

$$AR^2A + BRA + K = 0 \quad (39)$$

kde $A = 1 - A_u$,

$$B = A_u(RC - RZ1) - RC - RZ2,$$

$$K = A_uRC(R_s + RZ1) - RCR_s.$$

Řešení této rovnice je ve tvaru:

$$RA_{1,2} = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 - 4AK}}{2A} \quad (40)$$

Dosazujeme-li postupně jednotlivé zisky +12 dB, +8 dB ... až -12 dB, dostáváme odpory RA . Potom příslušný odpor RC_i je roven rozdílu dvou sousedních odporů RA

$$RC_i = RA(i - 1) - RAi \quad (41)$$

Použité symboly

$RZ1$ je zpětnovazební odpor pro útlum

$RZ2$ zpětnovazební odpor pro zdvih,

R_s sériový odpor rezonančního obvodu,

RC celkový odpor sítě $RC = RC_i$,

RC_i dílčí odpory odporové sítě,

RA pomocný odpor pro výpočet,

RB pomocný odpor pro výpočet,

A_u přenos obvodu,

I_{MPX} proud přes multiplexer.

Výpočet odporů rezistorů odporové sítě

Po dosazení konkrétních čísel do rovnic (38) a volbě odporů z výrobní řady lze zvolit odpory (v $\text{k}\Omega$) podle vedlejší tabulky:

Kontrola šumového napětí

Předpokládáme použití zesilovače typu NE5534, který má spektrální hustotu vstupního šumového napětí $U_{ss} = 6\,\text{nV}/\sqrt{\text{Hz}}$. Potom v pásmu akustických kmitočtů 20 Hz až 20 kHz bude jeho ekvivalentní šumové napětí $U_s = 6 \cdot 10^{-9} \sqrt{20\,000 - 20} = 850\,\text{nV}$. Dosazením do vztahu (30) dostáváme při dané volbě odporů RZ a RE výstupní šumové napětí $U_o = 850 \cdot 10^{-9} \cdot 18\,\text{k}/18\,\text{k} = 1700\,\text{nV}$. Bude-li jmenovité výstupní napětí obvodu 1,55 V, potom teoretický odstup signál/šum bude 119 dB (uvažujeme regulátory nastavené na lineární průběh). Do výpočtu není zahrnut vliv tepelného a napětového šumu rezistorů. Pro zvolené odpory a při použití kvalitních metalizovaných rezistorů lze tento vliv zanedbat.

Preemfáze-deemfáze

Za účelem dalšího zlepšení odstu- pu s/š je v přístroji zavedena preemfáze. Tzn., že signály kmitočtů mezi 1 až 5 kHz se před vlastní úpravou v obvodech ekvalizeru zesílí a pak zase stejným způsobem zeslabí. Tím se zeslabí i šum obvodů ekvalizeru, který je nejvíce zřetelný právě v tomto pásmu. Má to však jisté úskalí ve zmenšení přebuditelnosti přístroje, právě na těchto kmitočtech. Proto i zisk nebyl zvolen příliš velký, pohybuje se kolem 10 dB. Navíc lze předpokládat, že přirozený hudební signál má svá maxima kolem 50 až 200 Hz. Preemfáze je realizována obvodem $U1$ a deemfáze obvodem $U3$ (obr. 11, str. 9).

Volba multiplexerů a operačních zesilovačů

Při návrhu obvodů se můžeme rozhodovat mezi dvěma typy multiplexerů. Jsou to jednak multiplexery CMOS logické řady 4000 a jednak multiplexery BiFET řady MABxx. Jejich vlastnosti se vzájemně poněkud liší. Multiplexery CMOS mají odpor sepnutého kanálu asi 200 Ω , napájecí napětí je max. $\pm 9\,\text{V}$, logické úrovně odpovídají řadě CMOS. Maximální vstupní napětí je rovno napájecímu. Naopak multiplexery BiFET mají odpor kanálu asi 380 Ω , napájecí napětí je max. $\pm 15\,\text{V}$, logické úrovně odpovídají řadě TTL. Maximální vstupní napětí je 11 V. Především z důvodu kompatibility napájecího napětí operačních zesilovačů a těchto multiplexerů, logických úrovní s procesorem a větším rozsahem vstupního napětí byly zvoleny multiplexery Bi-

FET. Neznamená to však, že by nebylo možné použít multiplexery CMOS. Pro nás nejdůležitější parametr je odpor sepnutého kanálu a jeho nezávislost na procházejícím napětí a proudu. Výrobce zaručuje změnu odporu v závislosti na napětí menší než 1,5 % při proudu 200 μA a napětí -10 až +10 V u typu MACxxA. Praktické měření prokázalo, že je lze provozovat do proudu 500 μA bez viditelného zhoršení. Přesto je třeba multiplexer používat v sérii s co největším odporem, aby se změna odporu kanálu uplatnila co nejméně.

Nabídka typů operačních zesilovačů je nesrovnatelně větší. Prakticky přicházejí v úvahu typy NE5532 a NE5534, popř. OP07 a OP27 jako představitele bipolárních typů, a operační zesilovače řady TL07x jako představitele typů JFET. V místech bez nároku na rychlost lze použít zesilovače s malým příkonem typů TL06x. Pro zvlášť extrémní nároky je možné použít typy LTxxx, avšak za odpovídající cenu.

Řídící jednotka

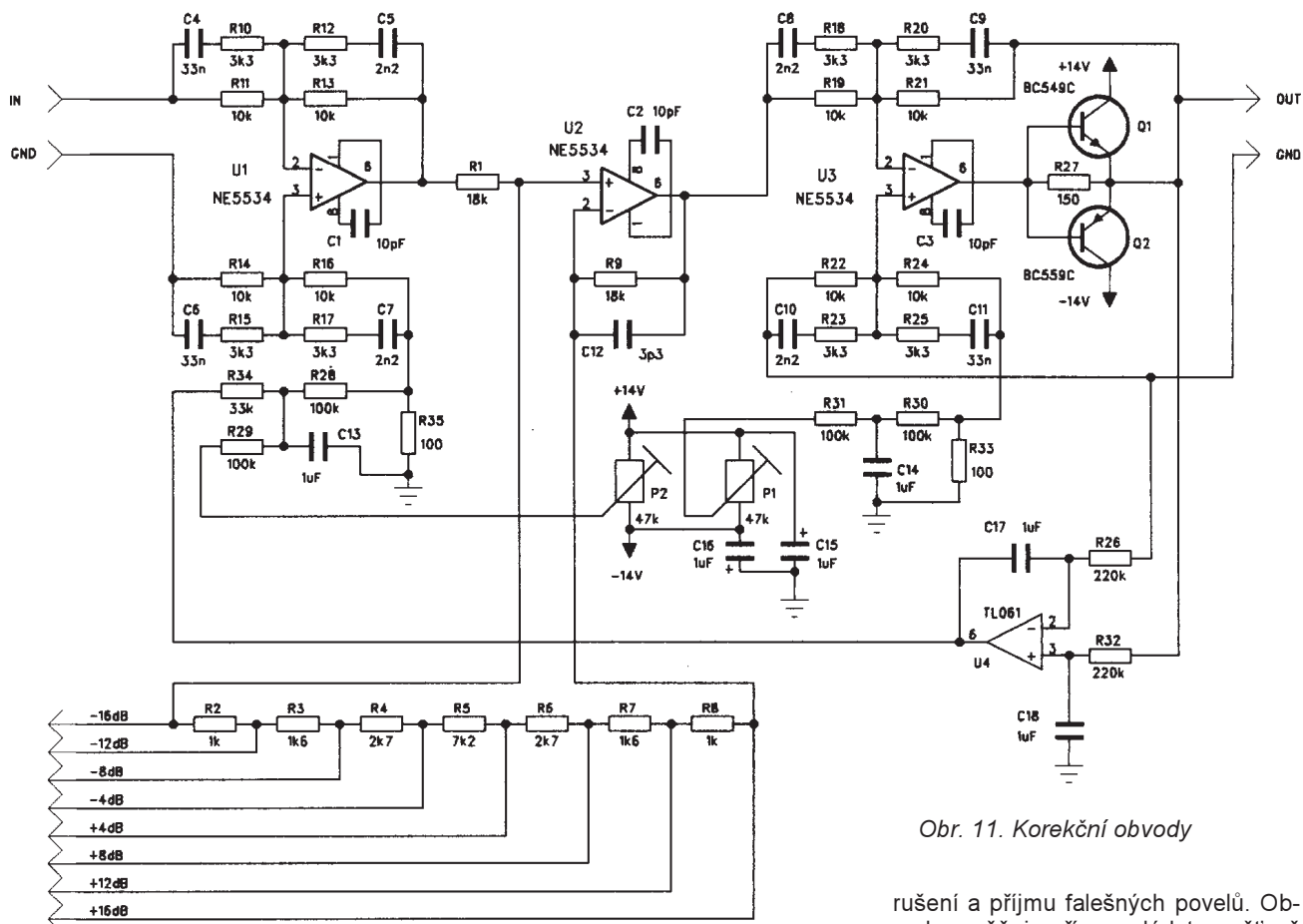
Popis zapojení

Základní součástkou tohoto obvodu je jednočipový mikropočítač typu 8749H, který zajišťuje veškeré řízení ekvalizeru, zpracovává povely ovládání, řídí čtení a ukládání do paměti EEPROM a obsluhuje displej. Port P1 je využit v režimu bitových operací. Na bity P10 až P13 je připojena externí paměť EEPROM. Ostatní bity řídí tyto funkce: P14 umlčování výstupu, P15 zapnutí přístroje z pohotovostního stavu do stavu zapnuto, P16 zobrazovací režim displeje a P17 blokování displeje (obr. 12, str. 9).

Port P2 je předurčen pro rozšiřování vstupů a výstupů systému 8748 a takto je využíván i zde. Dolní čtyři bity spolu s vývodem PROG tvoří vnitřní pětivodičovou sběrnici, která je rozvedena k jednotlivým expanderům na deskách vstupu, multiplexerů atd. Horní čtyři bity slouží jako výběrové vstupy jednotlivých expanderů.

Brána BUS je využívána pro místní ovládání. Obvod s tranzistorem Q1 a Q2 slouží k resetu mikropočítače, generuje stav log. 0 při zmenšení napájecího napětí pod 4,7 V. Obvod s tranzistorem Q3 a Q4 odpojuje výstup při vypnutí napájení a zabraňuje lupání na výstupu při zapínání a vypínání přístroje - proto, aby byl výstup zapnutý, musí být signál zdroje (PoWerOK) aktivní a bit P14 v úrovni log. 0 (reset procesoru nastavuje P10 až P17 do log.1). Tranzistor Q6 slouží jako ochrana před velkým napájecím napětím např. při poruše zdroje. Brána BUS pracuje ve vstupním režimu, proto je „upnutá“ rezistory na +5 V a tlačítky místního ovládání je připojována na zem.

R_s	$RC1$	$RC2$	$RC3$	$RC4$	$RC5$	$RC6$	$RC7$	$RZ1$	$RZ2$
3,3	1	1,6	2,7	7,5	2,7	1,6	1	18	18

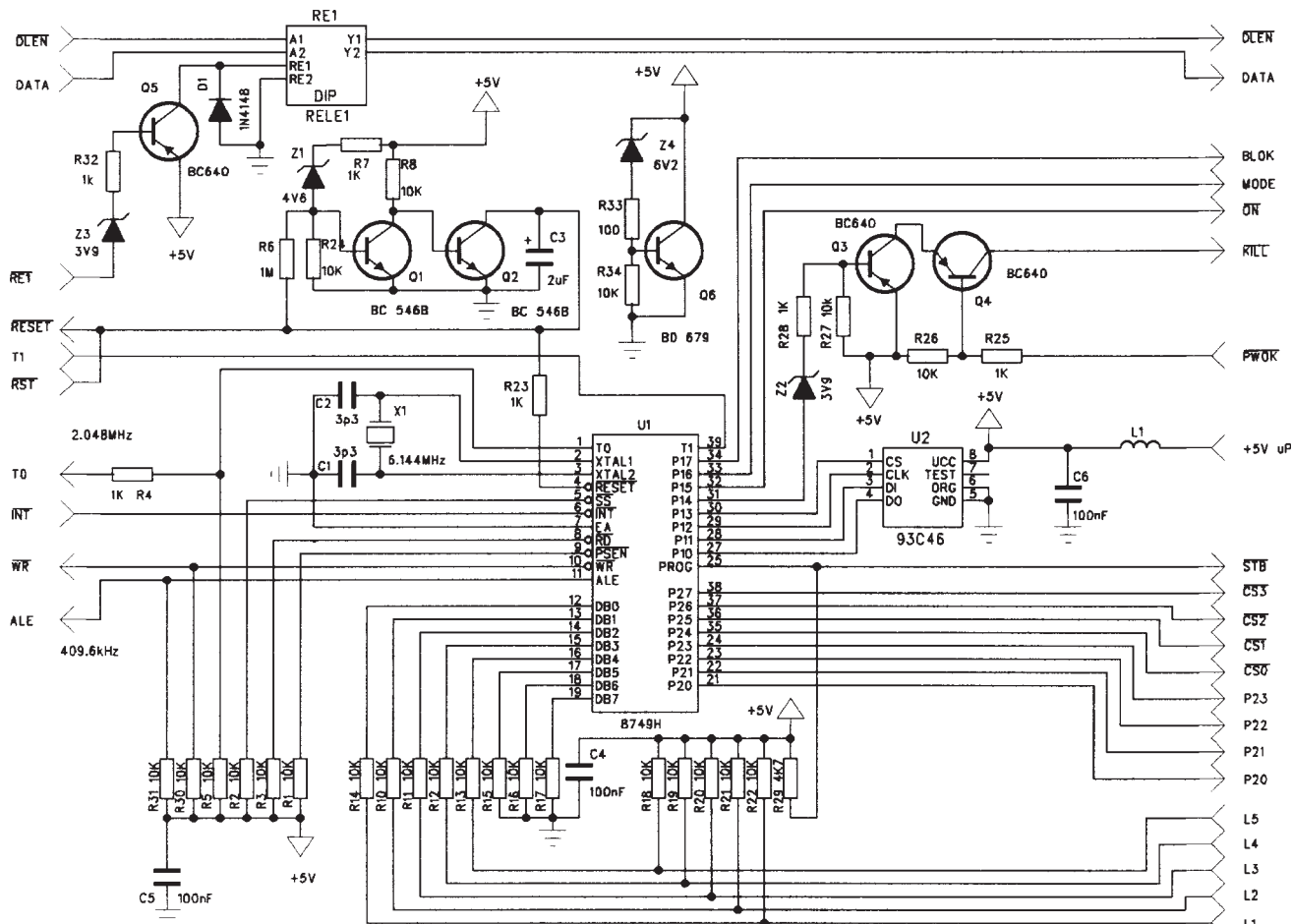


Obr. 11. Korekční obvody

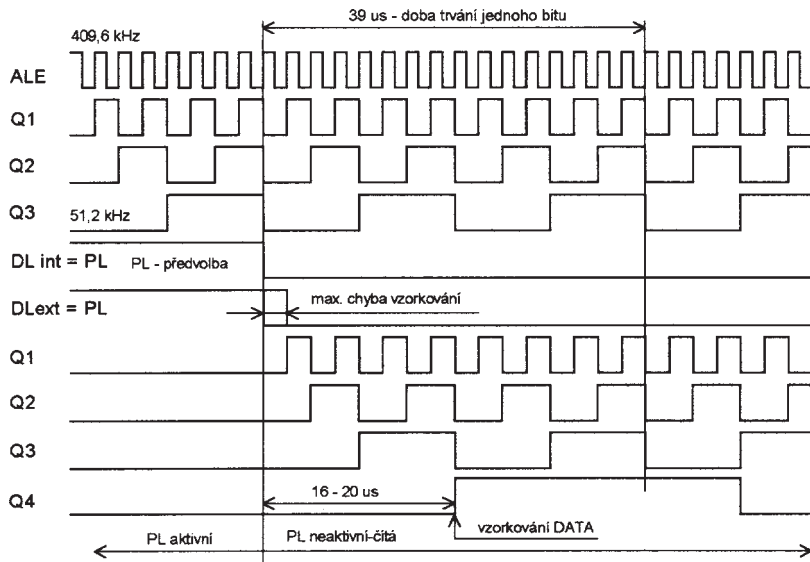
Dekodérem dálkového ovládání je U806D (obr. 15). Je to obvod, který

byl určen pro DO u televizorů. Jeho přednost je především v odolnosti vůči

rušení a příjmu falešných povelů. Obvod umožňuje přímo ovládat napětově řízené potenciometry, předvolby televizoru apod. V našem případě jsou však



Obr. 12. Zapojení řídicí jednotky

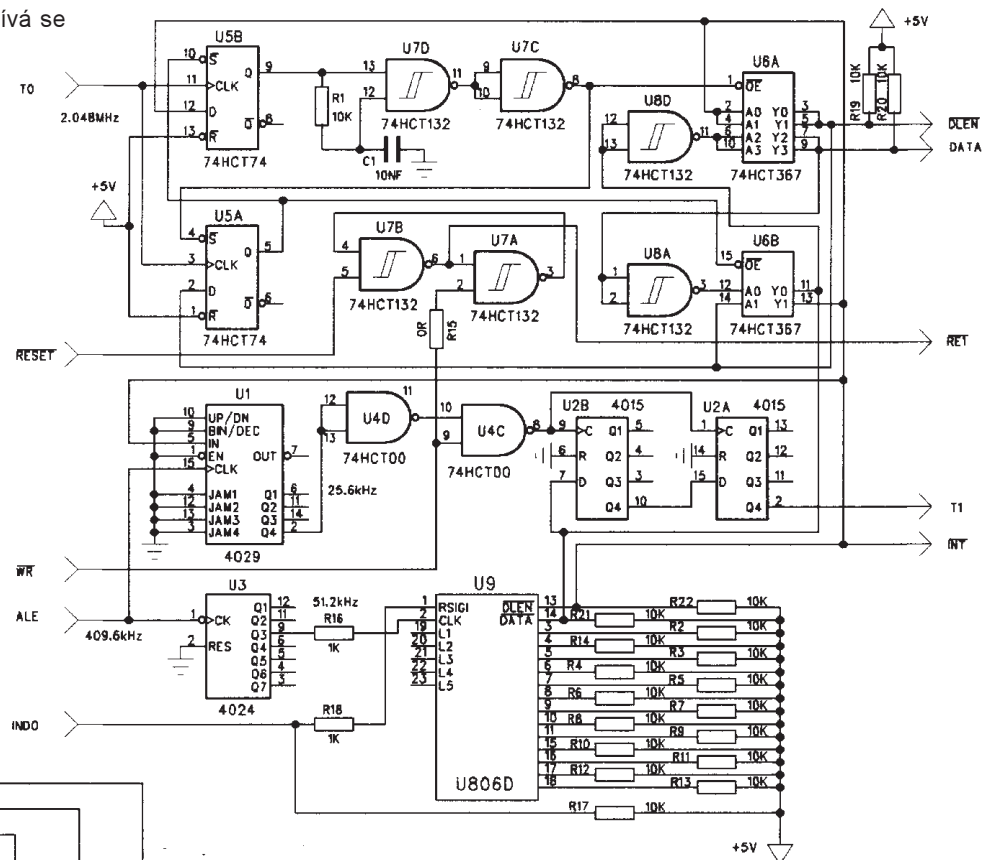


Obr. 14. Časování příjmu povelu

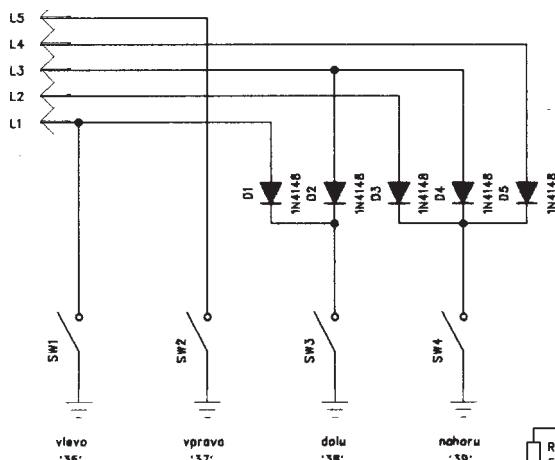
pu DATA objevovat jednotlivé bity povelu a výstupy Y2 a Y3 obvodu U6A přecházejí ze stavu s velkou impedancí do funkce vysílání dat. Konec aktivity signálu DLEN ukončí také vysílání dat a sběrnice s malým zpožděním, daným členem R1C1, přechází opět do stavu s velkou impedancí. Toto zpoždění je velmi důležité, používáme-li pro spojení s jiným přístrojem ovládací kabel s větší kapacitou (delší). Log. 0 na konci povelu na DLEN by vyvolala opětovný přenos povelu, tentokrát však opačným směrem, tedy do přístroje, a oddělovací obvod by se rozkmital. Proto je na konci povelu po krátkou dobu na výstupu DLEN i DATA log.1, která nabije kapacitu kabelu a teprve potom přecházejí výstupy do stavu s velkou impedancí, kdy jsou „upnuty“ na +5 V pouze rezistory s relativně velkými odpory (R19 a

tyto výstupy nezapojené a využívá se pouze sériového výstupu tohoto obvodu. Zde jsou přítomny všechny správně přijaté povelu v sériovém tvaru na vývodech DLEN a DATA. Vývod DLEN úrovní log. 0 označuje začátek přenosu dat na vývodu DATA. Jednotlivé bity povelu se objevují na vývodu DATA synchronně s hodinovým vstupem U806D s polovičním kmitočtem, tedy jeden bit je přítomen dva hodinové taktu. Datové bity jsou vedeny jednak do posuvného registru U2, který zastává funkci vyrovnávací paměti mezi procesorem a dekodérem DO, a jednak přes oddělovací obvody U5 až U8 jsou vyvedeny na externí konektor a lze jimi ovládat další přístroj.

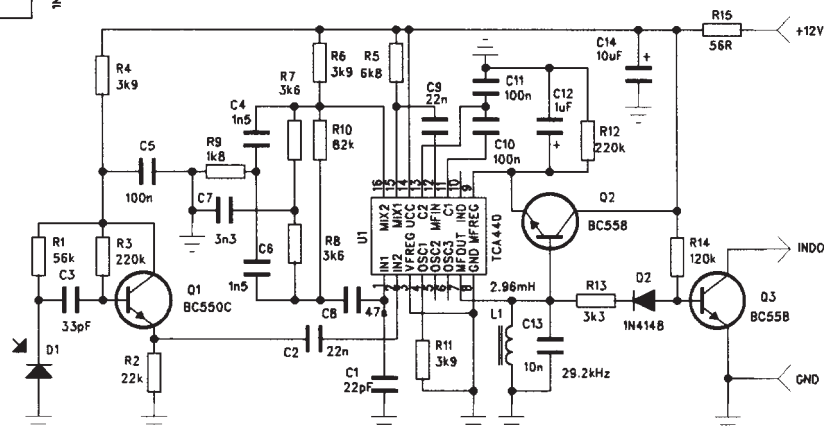
Funkci oddělovacích obvodů vysvětluje obr. 14. Signál DLEN se zmenší na log. 0 se sestupnou hranou hodinového signálu. Současně se začnou na výstu-



Obr. 15. Schéma zapojení dekodéru DO a obvodů V/V



Obr. 13. Zapojení klávesnice



Obr. 16. Zapojení předzesilovače DO

R20). Přes tento konektor tedy lze také přístroj ovládat, pokud bude formát přenosu stejný jako u IO U806D. Relé RE1 odpojuje vnější sběrnici, aby tehdy, je-li spojeno několik přístrojů a jeden z nich je vypnutý, nebyla tato sběrnice blokována úrovní log. 0 (obr. 12).

Funkce vyrovnávacího posuvného registru je důležitá především proto, že procesor 8749 má prakticky pouze jednu úroveň přerušení. Pracovní náplň je kromě příjmu povelů také ovládání multiplexovaného displeje, které se děje v přerušení časovém. Tedy není vždy okamžitě připraven přijmout povel a docházelo by ke ztrátám povelů. Obvod U806D má sice možnost s vysíláním povelu počkat, avšak to by zase přinášelo problémy při ovládání dvou a více přístrojů současně. Proto je použit tento posuvný registr ve funkci vyrovnávací paměti. Čítač U1 je v době, kdy se nevysílá povel, zablokovaný signálem nastavení předvolby takže nemůže čítat, v okamžiku začátku povelu začne čítat a přes logické členy U4A a U4B čte datové bity na vývodu DATA do registru. Současně se vyvolává vnější přerušení a po skončení přenosu povelu nebo po ukončení obsluhy časového přerušení se povel čte do mikroprocesoru. Čte se vstupem T1 a bity jsou vysouvány z registru signálem WR.

Jako vysílač DO je vhodný tovární ovladač k TV. Lze použít v podstatě libovolný typ, který používá jako kodér obvod U807D. Nejvhodnější je typ, který obsahuje ovládání teletextu, u jiného budou pro některé funkce chybět tlačítka. U TV se používá kmitočtový oscilátor 4 MHz, zde je třeba kmitočtovou upravu na 3,276 MHz (změnou obvodu LC).

Popis programového vybavení

Celý program má délku asi 2 kB, je uložen ve vnitřní paměti EPROM v procesoru 8749. Zde se soustředíme více na popis vlastností programu než na program samotný. Celý přístroj má na předním panelu pouze pět ovládacích prvků. Síťový spínač a čtyři ovládací kurzorová tlačítka (vlevo ←, vpravo →, nahoru ↑, dolů ↓, obr. 13). Jak už napovídá jejich název, je celé ovládání pomocí kurzoru. Tlačítka ← → se volí ta funkce, která se potom tlačítky ↑ ↓ nastavuje.

Funkce jsou tyto: pásmo 62,5 Hz až pásmo 8 kHz, zvolený vstup, vstupní citlivost vlevo, vpravo, šířka stereofonní báze, režim zobrazování maticového displeje, režim zobrazování displeje VU-metru, nastavení časovače a předvolba. Tedy celkem 16 funkcí, které jsou v jedné logické úrovni. Informace o průběhu nastavování se zobrazují na maticovém displeji (pro kmitočtová pásma), nebo na 4místném sedmisegmentovém displeji (pro ostatní funkce). Na maticovém displeji je aktuální kmitočtové pásmo vyznačeno intenzivnějším svitem konkrétního diodového

Tab. 3. Seznam povelů

Číslo povelu	Funkce	Přístup
0	nastavení lin. přenosu	P
1	vypnutí/zapnutí výstupu	DO
2	přechod do stavu stand-by	P
3	režim maticového displeje (nastavení/měření)	DO
4	zvětšení časovače o 5 minut	DO
5+5	zápis aktuální předvolby do EEPROM	DO
6+17 až 24	selektivní ovládání jednoho přístroje	DO
6+14	ovládání všech přístrojů současně	DO
16	kurzor nahoru	DO
17	předvolba 1	DO
18	předvolba 2	DO
19	předvolba 3	DO
20	předvolba 4	DO
21	předvolba 5	DO
22	předvolba 6	DO
23	předvolba 7	DO
24	předvolba 8	DO
29	kurzor vlevo	DO
30	kurzor vpravo	DO
31	kurzor dolů	DO
34	nastavení lineárního přenosu	DO
36	kurzor vlevo	P
37	kurzor vpravo	P
38	kurzor dolů	P
39	kurzor nahoru	P
49	zápis aktuální předvolby do EEPROM	P

Pozn.: čísla povelů souhlasí s dokumentací obvodu U806D

P - funkce na panelu přístroje

DO - na dálkovém ovládání

sloupce. Na displeji segmentovém se objevují zkratky příslušné funkce a číselná hodnota momentálního nastavení (např.: **IP-2**, je-li nastaven vstup č. 2 a kurzor stojí na nabídce *volba vstupu*). Tlačítka ↑ ↓ lze číselnou hodnotu měnit a tato změna se okamžitě promítá do elektrického nastavení dané funkce (např. **IP-1** až **IP-8** pro vstupy 1 až 8). Pokud nastavujeme kmitočtové pásmo, potom na segmentovém displeji svítí stále číslo aktuální předvolby (např. **PL-2**).

Popis jednotlivých funkcí

Nastavení pásem - pro každé kmitočtové pásmo lze zvolit přenos od -16 do +16 dB v krocích po 4 dB. Nastavení se zobrazuje na maticovém displeji. **Volba vstupu** - lze zvolit jeden z osmi vstupů. Vstup č. 8 má předřazen předzesilovač pro signály s malou úrovní. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji: **IP-1 až IP-8**.

Citlivost vlevo - lze zvolit osm stupňů citlivosti vstupu 0 až 32 dB po krocích 4 dB. Zobrazuje se na 7segmentovém displeji **LL-1 až LL-8**.

Citlivost vpravo - totéž jako levý kanál. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji **LP-1 až LP-8**.

Šířka báze - dostupné jsou tyto volby: monofonní, částečně stereo, stereo, rozšířené stereo. Zobrazuje se na 7segmentovém displeji **TP-1 až TP-4**.

Režim maticového displeje - zobrazit lze buď nastavenou korekční křivku nebo skutečné úrovně signálu v jednotlivých kmitočtových pásmech,

změřené analyzerem spektra. Oba režimy mohou být v páskovém nebo bodovém zobrazení. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji **FA-1 až FA-4**.

Režim VU-metru - zobrazuje buď úroveň signálu v obou kanálech nebo nastavení vstupní citlivosti. Oba režimy umožňují páskový nebo bodový provoz. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji **UU-1až UU-4**.

Časovač - Nastavuje čas v minutách, za který se přístroj vypne. Je-li nastavena nula, je tato funkce vyřazena. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji **C-00 až C-99**.

Předvolba - nastavuje momentálně zvolenou předvolbu, viz článek *Předvolba*. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji **PL-1 až PL-8**.

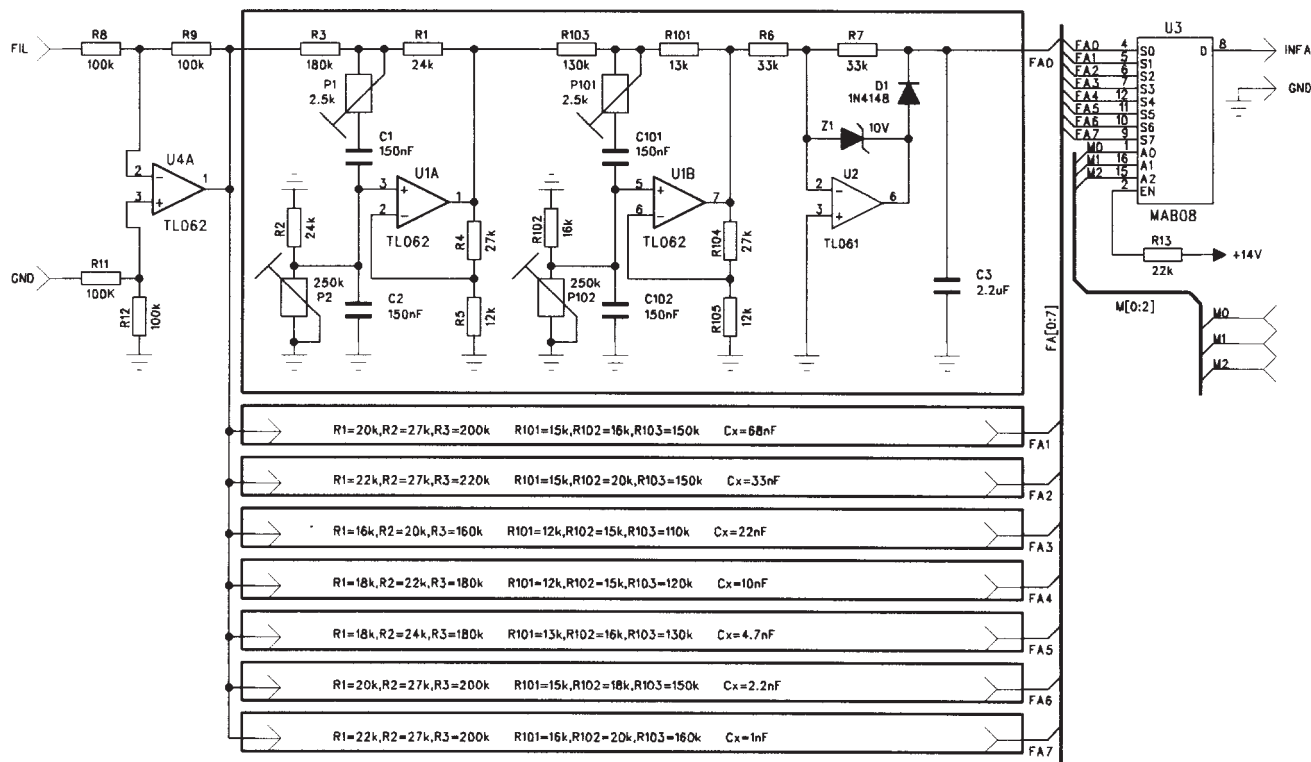
Doplňkové funkce

Tyto funkce se nevolí pomocí sekvenční kurzorové volby, ale přímo dálkovým ovládáním nebo stlačením několika tlačítek na panelu současně. Jsou to:

Přechod do stavu STAND-BY - současně ←+→ nebo na dálkovém ovládání.

Zápis do EEPROM - dvakrát po sobě současně ←+↑ nebo na dálkovém ovládání. Zapiše aktuální předvolbu do paměti.

Lineární přenos - současně ↑+↓ nebo na dálkovém ovládání. Opětovné na-



Obr. 17. Zapojení filtru frekvenčního analyzera

stavení je možné opětovným stisknutím tlačítka předvolba.

Vypnutí výstupu - vypne/zapne výstup signálu. Pouze na dálkovém ovládání. **Režim maticového displeje** - přepíná režim měřeno/nastaveno, pouze na dálkovém ovládání.

Selektivní volba - používá se při ovládání několika přístrojů jedním ovladačem. Umožňuje zvolit pouze jeden, ostatní přístroje povely DO ignorují. Každý ovládaný přístroj má své číslo. Např. ekvalizer č. 1, zesilovač č. 2 ... Tato volba není dostupná pro ovládání z panelu.

Předvolby

Pro větší komfort obsluhy a univerzálnost přístroje jsou zavedeny tzv. předvolby. Předvolba je souhrn všech funkcí, které lze na přístroji nastavovat. Jsou uloženy v paměti EEPROM a při vypnutí se neztrácejí. Je jich celkem osm. Předvolbu lze vyvolat buď sekvenčně pomocí kurzorových tlačítek nebo přímo prostřednictvím dálkového ovladače. Předvolby umožňují vytvořit osm autonomních nastavení celého přístroje. Lze tak pro libovolnou předvolbu zvolit libovolný vstup, citlivost, korekční křivku atd. Jeden vstup může mít několik křivek (např. pro různé druhy hudby), nebo několik vstupů jednu, např. přehrávač CD jinou než magnetofon, jinou při přehrávání a při nahrávání apod. Potom stiskem jediného tlačítka na dálkovém ovladači dostaneme nové kompletní nastavení všech parametrů. Korekce levého a pravého kanálu se nastavují současně a musí být stejné. Při provozu můžeme měnit všechny parametry,

pokud je však neuložíme do paměti EEPROM, tak se po novém vyvolání této předvolby nastaví předchozí, nezměněné parametry.

Po zapnutí síťového spínače je přístroj ve stavu STAND-BY, kdy je v činnosti pouze procesor a dekodér dálkového ovládání. Stisknutím libovolného tlačítka na panelu nebo na dálkovém ovládání se přístroj zapne a nastaví se předvolba č. 1. Není-li to první zapnutí síťovým spínačem, nastaví se předvolba zvolená naposledy. Dále už je možné přístroj ovládat buď z panelu nebo dálkovým ovladačem.

Frekvenční analyzér (FA-metr)

Popis zapojení

Na vstupu je diferenční zesilovač, který odstraňuje rušení vlivem zemních smyček. Signály obou kanálů jsou sečteny a zobrazují se současně. Zapojení se skládá z osmi úzkopásmových filtrů (obr. 17). Jejich zapojení je podobné oscilátoru s Wienovým článkem, avšak celková kladná zpětná vazba je menší než jedna a obvod se tedy sám o sobě nerozkmitá. Přiblíží-li se však kmitočet vstupního signálu kmitočtu filtru, napětí na výstupu se bude zvětšovat. Dodáváme vlastně pouze ztráty v kmitavém obvodu. Z toho tedy plyne velká selektivita filtru. Pro dosažení obdélníkového tvaru výstupních signálů jsou takové dva dílčí filtry zapojeny za sebe, aby se jejich přenosové charakteristiky sčítaly. Jeden z nich je naladěn na kmitočet

$f_0 / \sqrt{2}$, druhý na $f_0 \sqrt{2}$, f_0 je střední kmitočet filtru. Strmost hrany takto konstruovaného filtru je asi 80 dB na oktavu, což odpovídá filtru asi 12.

řádu. Zvlnění v propustném pásmu nepřesáhne při pečlivém nastavení filtru 6 dB. Je to na první pohled mnoho, ale je to kompromis mezi složitostí filtru, šířkou pásma a zvlněním v propustném pásmu. Navíc údaj FA-metru je pouze orientační informací. Na výstupu druhého filtru je „operační“ usměrňovač a výstupy usměrňovačů jsou přivedeny do multiplexeru, který je přepíná do převodníku A/D-FA (viz dále).

Nastavení filtru

Nastavení filtru je poměrně obtížná záležitost, neboť nastavovací prvky jsou dva a nastavuje se jimi současně kmitočet filtru, jakost (šířka pásma) filtru a na jakosti závisící přenos filtru na středním kmitočtu. Kmitočet se nastavuje otáčením trimru ve stejném směru a jakost ve směru proti sobě. Tak lze zmenšit počet nastavovacích součástek ve filtru na dva, ale i tak jich je celkem 32. Pro střední kmitočet platí:

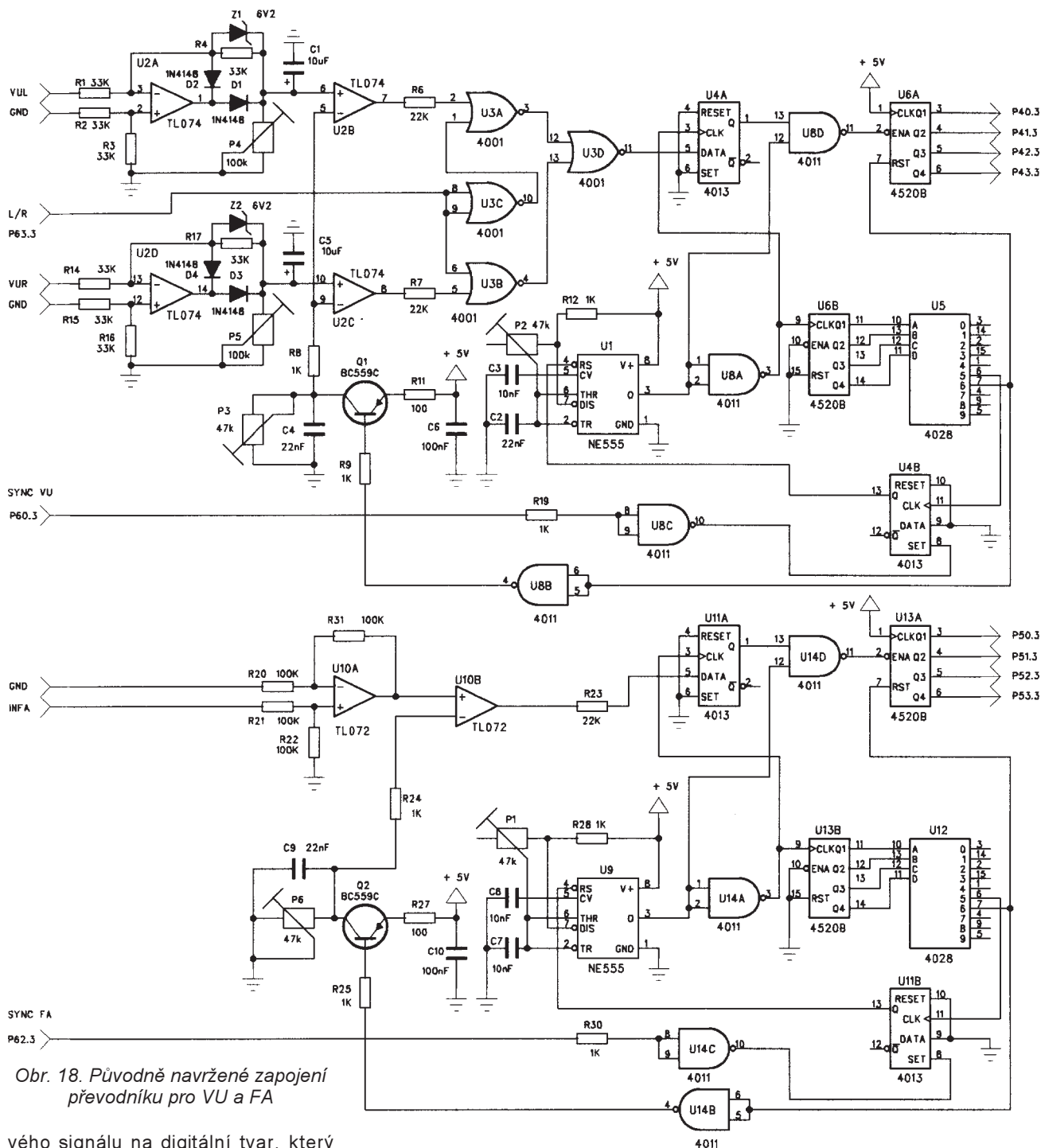
$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{(R1R3 + P1)(R2P2)C1C2}}$$

Ve skutečnosti je nastavení jednodušší tím, že poměr odporů R3 a R1 je volen tak, že bude-li přenos dílčích filtrů na jejich středních kmitočtech roven +12 dB a bude-li současně správně nastaven jejich střední kmitočet, bude správně nastavena i šířka pásma a přenos celého filtru.

Převodníky A/D

Popis funkce

Má-li být signál co nejkvalitnější, musí být správně nastavena úroveň signálu zpracovávaného ekvalizerem. Pro informaci o velikosti vstupního signálu potřebujeme převodník analogo-

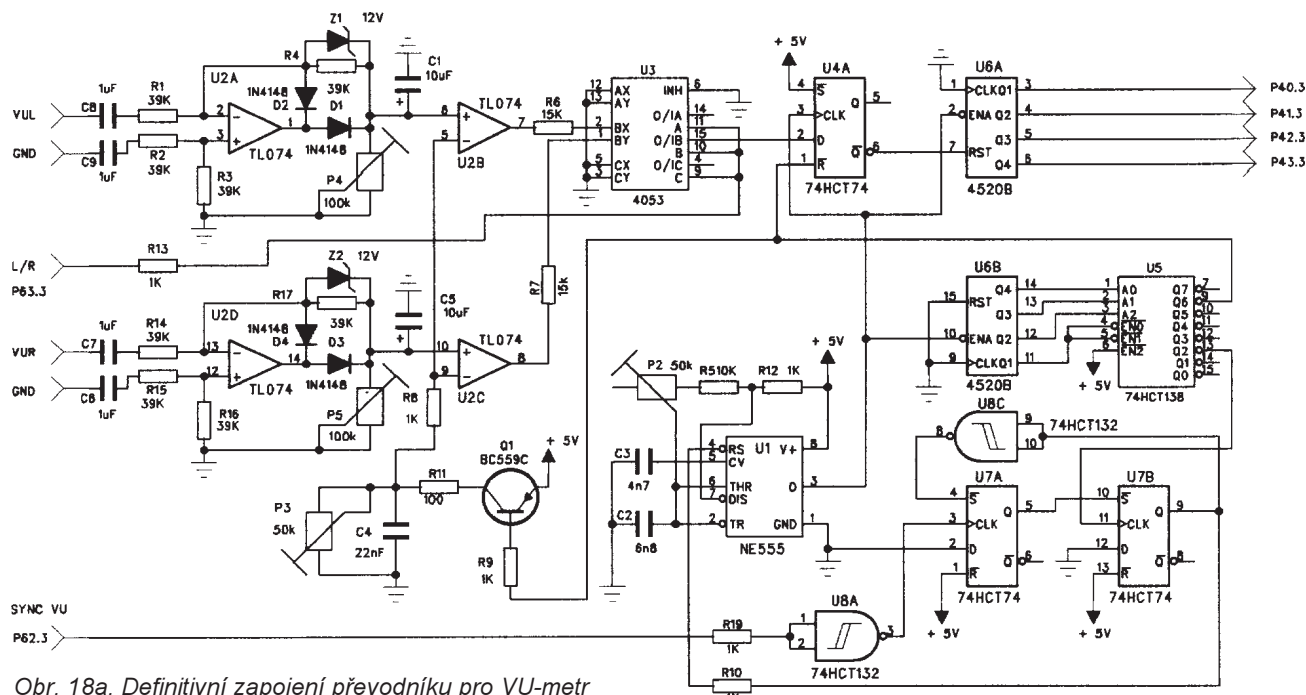


Obr. 18. Původně navržené zapojení převodníku pro VU a FA

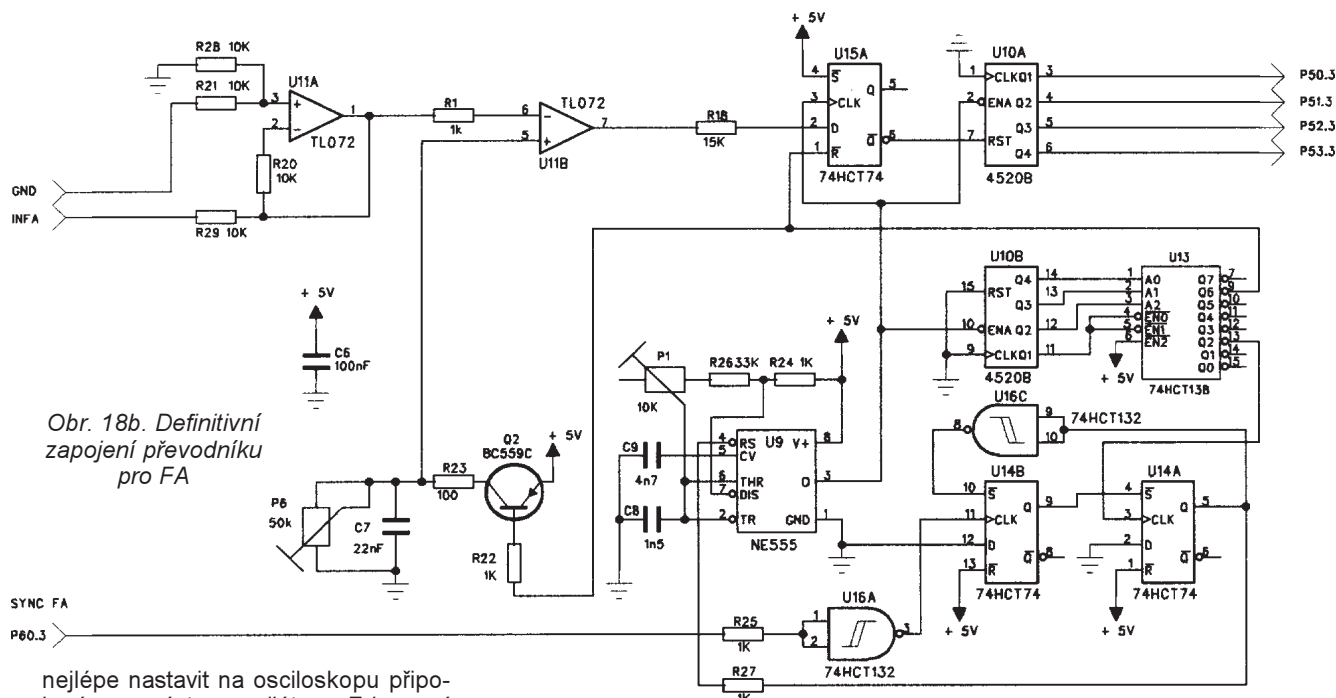
vého signálu na digitální tvar, který může zpracovat a zobrazit mikroprocesor. Při volbě vhodné typy převodníku padla volba na počítačový typ, kdy se měřené napětí srovnává s referenčním časově proměnným napětím. V zařízení audiotechniky potřebujeme informaci o velikosti signálu v logaritmických jednotkách (dB). Právě tento typ převodníku umožňuje daný požadavek velmi jednoduše splnit tak, že referenční napětí bude v čase proměnné exponenciálně (využívá se vybíjení článku RC). Vstupní signál přivedený z výstupu vstupní jednotky je nejprve v U2A a U2D usměrněn. Usměrněný a vyfiltrováný se přivádí na vstupy komparátorů U2B a U2C. Do komparátorů se přivádí též exponenciálně se zmenšující signál z C4. Výstupy komparátorů jsou přepínány obvodem U3 na vstup vzorkovacího

klopného obvodu U4A. Vzorkování odstraňuje případné záškuby na výstupu komparátoru, které by se mohly načítat do U6A v okamžiku překlenu komparátoru. Od okamžiku, kdy je analogový signál na vstupu větší než referenční napětí, objeví se na výstupu komparátoru stav log. 1, výstup U4A odblokuje U6A, který začne čítat výstupní signál oscilátoru. Tím je vytvořena závislost mezi výslednou číselnou hodnotou a velikostí vstupního signálu, protože čím větší je signál na vstupu, tím dříve začne U6A čítat a načítá větší hodnotu. Protože je časová závislost referenčního napětí exponenciální, dostaneme mezi vstupním napětím a číselnou hodnotou závislost logaritmickou, tedy v dB (přesněji určitý násobek dB na jednu číselnou

hodnotu). Celé časování převodu řídí pomocný čítač U6B. Funkce převodníku je časově svázaná s multiplexním kmitočtem displeje. Proto je použit klopný obvod U7, který po ukončení převodu zablokuje oscilátor a na výstupu čítače U6A zůstane naměřená hodnota. Nyní přichází časové přerušování mikroprocesoru, které jednak obnovuje displej a také čte naměřenou hodnotu z převodníku (viz Tab. 4. Časování displeje). Kmitočet oscilátoru musí tedy být nastaven tak, aby v okamžiku čtení naměřené hodnoty byl už převod ukončen (proběhlo 16 kmitů) a zároveň byla doba, určená na převod, z podstatné části využita. Kmitočet lze



Obr. 18a. Definitivní zapojení převodníku pro VU-metr



Obr. 18b. Definitivní zapojení převodníku pro FA

nejlépe nastavit na osciloskopu připojeném na výstup oscilátoru. Zde musí proběhnout 16 kmitů oscilátoru následovaných krátkou dobou klidu bez kmitů, kdy je převod dokončen a převodník čeká na přečtení naměřené hodnoty.

Vlastní převodníky jsou dva: jeden na měření napěťové úrovně (VU-metr), přepínaný do obou kanálů (přepínání se řídí bitem P63.3, začátek převodu je na sestupnou hranu P62.3, doba převodu je necelých 7 multiplexních cyklů displeje), druhý převodník stejného zapojení (FA-metr) je přepínán k měření úrovně v osmi frekvenčních pásmech (přepínání se řídí bity P61-3.3, začátek převodu je na sestupnou hranu P60.3, doba převodu jsou necelé dva multiplexní cykly displeje). Převodník pro FA-metr je rych-

Tab. 4. Časování displeje

P6.3	procesor před vyslání adresy	procesor po vyslání adresy
B0000	dokončení měření FA0, čtení FA0	zobraz. FA0, start FA1a VU-R
B0001		zobrazení DSPL0
B0010	dokončení měření FA1, čtení FA1	zobrazení FA1, start FA2
B0011		zobrazení DPR
B0100	dokončení měření FA2, čtení FA2	zobrazení FA2, start FA3
B0101		zobrazení DSPL1
B0110	dokončení měření FA3, čtení FA3	zobrazení FA3, start FA4
B0111	dokončení měření VU-R, čtení VU-R	zobrazení HPR
B1000	dokončení měření FA4, čtení FA4	zobraz. FA4, start FA5 a VU-L
B1000		zobrazení DSPL2
B1010	dokončení měření FA5, čtení FA5	zobrazení FA5, start FA6
B1011		zobrazení DPL
B1100	dokončení měření FA6, čtení FA6	zobrazení FA6, start FA7
B1101		zobrazení DSPL3
B1110	dokončení měření FA7, čtení FA7	zobrazení FA7, start FA0
B1111	dokončení měření VU-L, čtení VU-L	zobrazení HPL

DPL, HPL, DPR, HPR ... dolní, horní polovina diodového sloupce levého, pravého kanálu

DSPL0 až 3 ... 4místný 7segmentový displej

FA0 až 7 ... 8sloupcový maticový displej ekvalizeru a akmitočtového analyzu

Maticový displej

Skládá se z osmi sloupců po devíti LED. Zobrazuje nastavenou korekční křivku ekvalizeru (režim *nastaveno*) nebo slouží jako indikátor analyzátoru spektra (režim *změřeno*). Může pracovat v páskovém nebo bodovém provozu. Řízení zabezpečuje opět paměť PROM.

Indikátor úrovně (VU-metr)

Jsou to dva diodové sloupce po 15 diodách, které zobrazují úroveň signálu v obou kanálech. Elektricky se jedná vlastně o čtyři sloupce po $2 \times 8 + 2 \times 7$ diodách. Může také pracovat v páskovém nebo bodovém provozu, protože je zapojen jako část maticového displeje.

Časování displeje

Všechny části displeje (sedmisegmentový, maticový displej a displej VU-metr) tvoří celkem 16 postupně se rozsvěčujících objektů. Displej je řízen dvěma porty expanderu (určení adresy objektu (tzv. *multiplexní adresa*) a vlastní hodnota zobrazovaná na určeném objektu). Kmitočet multiplexu je 1280 Hz. Střída proudů přes zobrazovací prvky je 1:16, teče jimi tedy impulsně proud asi 110 mA. Displej se napájí napětím 6 V (pro správnou funkci zdrojů proudu) a jeho maximální proudový odběr je asi 1200 mA. Synchronně se zobrazováním probíhá měření úrovně. Řízení převodníků A/D je odvozeno od multiplexní adresy displeje. Časování displeje a převodníků vysvětluje tab. 4 (str. 14).

Oddělovací deska

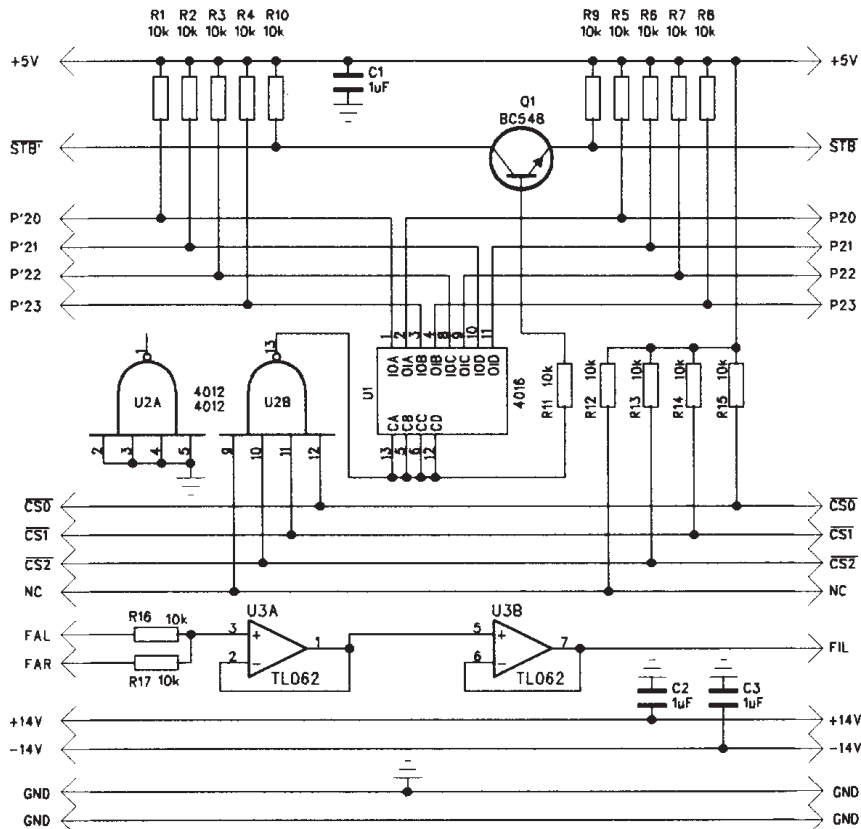
Popis zapojení

Tato deska slouží k oddělení sběrnice od signálové části. Je to proto, že po sběrnici neustále procházejí signály pro obnovu multiplexovaného displeje a má-li být dosažený odstup s/š co největší, nesmí se sběrnice přivést do blízkosti signálových obvodů. Proto oddělovací deska připojí datové vodiče sběrnice k signálové části pouze tehdy, je-li třeba s ní komunikovat (zjistí to podle signálů CS expanderů). Jinak je nastavený pro multiplexery uložený ve vyrovnávacích pamětech příslušných expanderů, nezávisle na procesoru (obr. 20).

Napájecí obvody

Popis zapojení

Napájecí zdroj dodává napětí ± 14 V, +12 V, +6 V, +5 V. Některá tato napětí jsou k dispozici vždy (i ve stavu STAND-BY), některá pouze ve stavu ZAPNUTO. Vzhledem k poměrně značnému odběru především ve větvi pro napájení displeje (6 V, 1,5 A) byly ke stabilizaci použity spínané monolitické stabilizátory typu LA4960. Ty jsou schopny poskytnout proud až



Obr. 20. Zapojení oddělovací desky

2,5 A s velkou účinností. Pracují jako jednočinné propustné měniče. Kmitočet spínání je kolem 100 kHz. Mají dále ochranu proti proudovému přetížení, pomalý start atd. Použití těchto obvodů zajistí malý příkon přístroje, velký rozsah napájecích napětí a hlavně se zmenší nároky na chlazení zdroje.

Zdroj dále generuje signál PWOK (dostatečné napětí) a RESET pro mikroprocesor. Signál RESET generuje také deska řídicí jednotky. Oba signály jsou logicky spojeny a uplatní se ten, který nastane dříve. Při konstrukci zdroje byl kladen maximální důraz na správné zemnění. Od této desky je třeba vést samostatnou „zem“ k displeji (*napájecí*), k procesoru a expanderům (*logická*), a *signálovou* „zem“ pro napájení signálových obvodů. Referenčním „bodem“, v němž jsou tyto země spojeny, je společný chladič stabilizátorů (není vodivě spojen s kóstrou). V žádném jiném bodě už tyto země nesmí být spojeny.

Další zem se nazývá *stínicí*, je to vlastně celá kovová kostra přístroje a

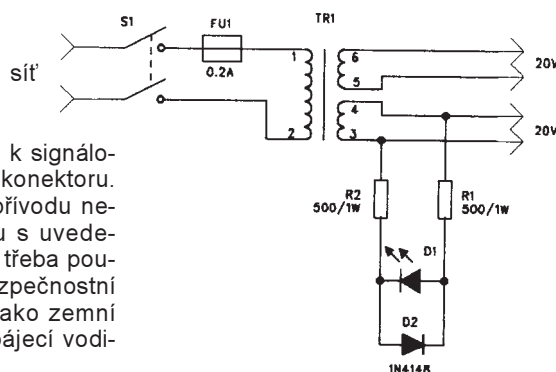
Konstrukce

Omezení vlivu zemních smyček

Jakékoliv zařízení, jehož zastavěná plocha není velice malá a které je vystaveno působení magnetických polí, je více či méně těmito poli ovlivňováno. V našem případě jde především o zhoršení odstupu cizích napětí od užitečného signálu. V přístroji je tento problém řešen už při návrhu zapojení a to zejména symetrickými vstupy na deskách a oddělením *napájecí, logické a signálové* země.

Referenčním bodem signálové země je zem vstupních a výstupních konektorů. Na tuto „zem“ je připojena „zem“ vstupní desky. Je třeba, aby vodiče mezi deskou a konektorem byly co nejkratší. Vstupní deska zpracovává oba dva kanály. Dále se signál rozděluje do korekcí levého a pravého kanálu (ty už mají samostatné desky) a na výstupním konektoru se zase spojuje. Musí se tedy rozdělit i země. Aby nevznikly problémy se zemní smyčkou, má deska korekcí vstupy i

Obr. 21. Zapojení transformátoru



stínicí plechy. Je připojena k signálové zemi v místě vstupního konektoru. Ochranný vodič síťového přívodu nesmí být spojen se žádnou s uvedených zemí. Pro napájení je třeba použít síťový transformátor bezpečnostní s dvojitou izolací. Stejně jako zemní musí být samostatné i napájecí vodiče.

z vnější strany, bílé a fixovány bezbarvým lakem.

Parametry

Parametry přístroje

V tab. 5 jsou uvedeny nejdůležitější technické parametry popisovaného přístroje. Parametry - především odstupy - jsou dosažitelné při pečlivém dodržení zásad zemnění a napájení. Pro malé zkreslení a malý šum je třeba používat kvalitní operační zesilovače (alespoň NE5532, 34), kvalitní metalizované rezistory a fóliové kondenzátory.

Změřené charakteristiky

jsou na 4 straně obálky.

Závěr

Několikaleté zkušenosti s provozem přístroje ukazují, že se jedná o zařízení, schopné dobře splnit stanovený účel. Za tuto dobu byla řada jeho částí přepracována pro dosažení co nejlepších parametrů. Ze zkušenosti lze poukázat na tyto hlavní výhody zvolené koncepce :

- snadné ovládání: při využití předvoleb v podstatě jedním tlačítkem. Kombinace předvoleb a dálkového ovládání tvoří výborný způsob, jak rychle a snadno změnit všeskeré nastavitelné parametry v závislosti např. na zvoleném vstupu. Má-li koncový zesilovač také možnost předvoleb, je tato výhoda ještě zřetelnější,

- precizní indikátor úrovně: umožňuje přesnou kontrolu úrovně signálu, tzn. dosáhnout maximálního odstupu signálu od šumu bez přebuzení signálovými špičkami,

- malý vlastní šum a rušivá napětí: optimalizace obvodové struktury, vypuštění klasických mechanických potenciometrů a správná volba propojení jednotlivých bloků umožnila dosáhnout odstupu signál/rušivé napětí minimálně o 20 dB lepšího než je u podobných přístrojů, řešených klasicky, obvyklé. Tím se přístroj dostal na úroveň „CD kvality“ (odstup větší než 90 dB) a tak lze ekvalizer zařadit do signálové cesty bez zásadního zhoršení odstupu celku,

- vestavěný spektrální analyzátor: optická kontrola spektra zpracovávaného signálu. Je velmi výhodný při omezování akustické zpětné vazby, kdy přímo zobrazí kritický kmitočet, na kterém se soustava reproduktor-mikrofon má snahu rozkmitat. Při použití generátoru růžového šumu a měřicího mikrofonu můžeme orientačně zjišťovat vlastnosti akustického prostoru a pokusit se je upravit,

- modulová koncepce: umožňuje snadnou náhradu některé stávající

Tab. 5. Parametry přístroje

<i>Typ ekvalizeru</i>	dvoukanálový, oktávový
<i>Počet pásem</i>	8
<i>Střední kmitočty</i>	62,5, 125, 250, 500 Hz, 1, 2, 4, 8 kHz
<i>Vstupní citlivost, vstup 1 až 7</i>	0,062 až 1,554 V
<i>Vstupní citlivost, vstup 8</i>	0 až 28 dB v 8 stupních po 4 dB
<i>Max. výstupní napětí</i>	0,8 až 20 mV pro 600 ohm
<i>Regulace</i>	8 V
<i>Rozsah regulace</i>	9 stupňů po 4 dB
<i>Odstup cizích napětí (1)</i>	-16 až +16 dB
<i>Odstup cizích napětí (2)</i>	103 dB
<i>Odstup cizích napětí (3)</i>	83 dB
<i>Odstup cizích napětí (4)</i>	116 dB
<i>Přebuditelnost výstupu (oproti 1,55 V)</i>	96 dB
<i>Harmonické zkreslení (3)</i>	14 dB
<i>Vstupní impedance</i>	0,005 %
<i>Výstupní impedance</i>	110 kiloohmů
<i>Počet vstupů</i>	600 ohmů
<i>Počet výstupů</i>	8, konektory cinch
<i>Řídicí procesor</i>	4, konektory cinch
<i>Příslušenství</i>	I8749H
	vysílač DO, ovládací kabel pro spojení několika přístrojů, ovládaných jedním ovladačem

(1) Výstupní úroveň 1,55 V, 20 Hz až 20 kHz, lineární přenos

(2) Výstupní úroveň 1,55 V, 20 Hz až 20 kHz, max. zesílení pásem

(3) Výstupní úroveň 7 V, 20 Hz až 20 kHz, lineární přenos

(4) Výstupní úroveň 7 V, 20 Hz až 20 kHz, max. zesílení pásem

desky novou, vylepšenou variantou zapojení s lepšími parametry.

Uvedené výpočtové postupy jsou do jisté míry univerzální pro obdobné přístroje tohoto typu, ať už jsou řízeny klasicky či mikroprocesorem. Při návrhu vícepásmových korektorů by bylo třeba rozdělit rezonanční obvody do skupin po max. deseti pásmech na jeden regulační zesilovač a to tak, aby v jedné skupině nebyly kmitočtové si nejbližší rezonanční obvody - tím by se zabránilo jejich vzájemnému ovlivňování.

Při výčtu všech kladů je však třeba poznamenat, že ačkoliv je ekvalizer zařízení, které může zásadním způsobem reprodukci vylepšit, může ji také zásadně zhoršit. Hlavní poslání ekvalizeru, již podle jeho názvu, je vyrovnávat nevhodnou kmitočtovou charakteristiku, nikoli nahrazovat regulátory basů a výšek, i když se tak často používá. Při pohledu na korekční křivku, na nichž jsou nízké a vysoké kmitočty zdůrazněny, vidíme, že charakteristika je zřetelně zvlněná a to mnohem více, než při použití klasických regulátorů basů a výšek. To samozřejmě nemusí mít na výsledné subjektivní hodnocení kladný vliv. Proto i při použití ekvalizeru by se měla výsledná barva zvuku řídit regulátory basů a výšek, nikoli ekvalizerem. To předpokládá u následujícího zesilovače bezvadnou funkci těchto regulátorů.

Při použití v bytových prostorách je také vhodné fyziologické řízení hlasitosti, i to však musí být správně funkční.

Autor této práce si neklade za cíl dát naprosto detailní popis přístroje,

spíše by chtěl přispět k objasnění hlavních zásad, které je třeba při návrhu podobných přístrojů dodržet a nastínit možné spojení klasických analogových obvodů s moderními součástkami, jako jsou mikroprocesory.

PŘÍLOHY

Výpis řídicího programu, verze ze dne 3. 5. 1996

```

ORG 000H
JMP INIT      ;skok na zac. programu
ORG 003H
JMP DO        ;obsluha vnejsiho preruseni
ORG 007H
JMP DISPL     ;preruseni casovacem
DO:
SEL RB1
MOV R7,A
JF0 PVLOK     ;v DISPL
JN1 PVLOK     ;po 15 us
JMP PVEND
PVLOK: MOV R0,#35H
TESTT: DJNZ R0,TESTI
ORL P1,#80H
JMP PVEND
TESTI: JN1 TESTT
MOV R0,#08H
MOV R2,#00H
CYKL: MOVX @R0,A
        atd.

```

Všechny zájemce o stavbu popísaného zařízení upozorňujeme, že celý výpis, popř. výpisy paměti PROM pro maticový a segmentový displej obdrží zájemci zdarma v redakci na vyžádání. Stačí žádost o korespondenčním listku. Výpis ve formátu Intel-hex je na 3. str. obálky

Zapojení jednotlivých bloků

U mnoha desek se spoji se opakují stejné bloky plošných spojů, např. u filtrů frekvenčního analyzoru. Potom jsou součástky značeny jen v jednom bloku, pro ostatní je rozmístění identické. Levá a pravá konektorová deska jsou propojeny plochým kabelem, stejně jako desky displeje a řídicí jednotky a desky displeje mezi sebou.

Desky s plošnými spoji

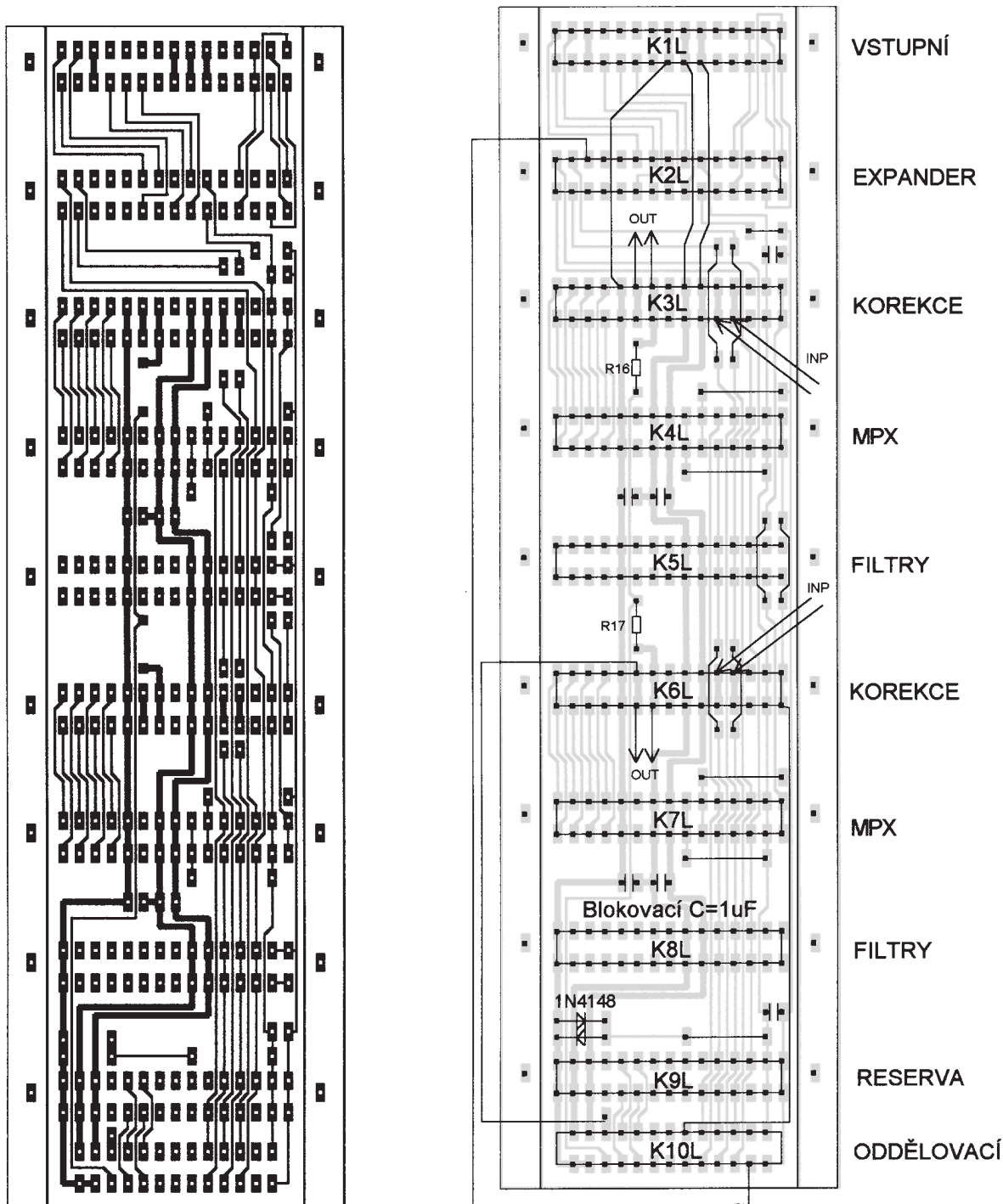
Schématu přístroje byla v předchozím textu uvedena v logických cel-

cích, nezávisle na rozmístění součástek na deskách s plošnými spoji. Může tedy jedno schéma být realizováno na několika deskách (např. displej), nebo naopak několik desek v jednom schématu (např. řídicí obvody a dekodér DO).

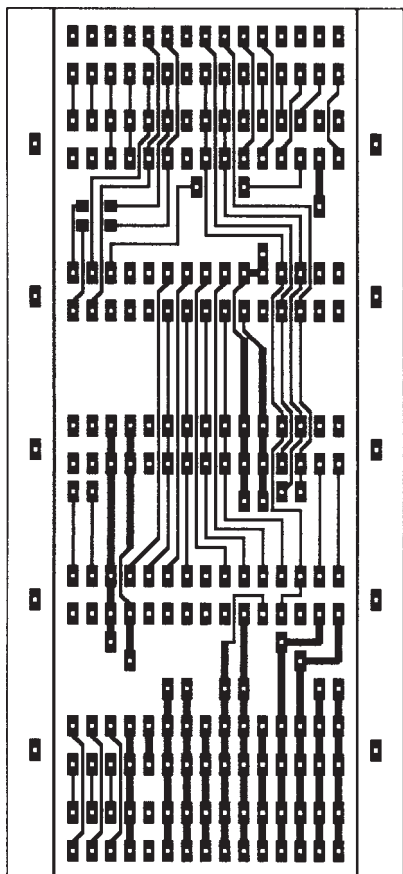
Literatura

- [1] Mužík, V.: Uživatelská příručka mikropočítačů řady 48 (1985).
- [2] Mužík, V.: Příručka programování mikropočítačů řady 48 (1986).
- [3] Barták, K.: Mikrořadiče MCS-48.
- [4] Stříž, V.: Katalog polovodičových součástek (díl 1-2, 1993).

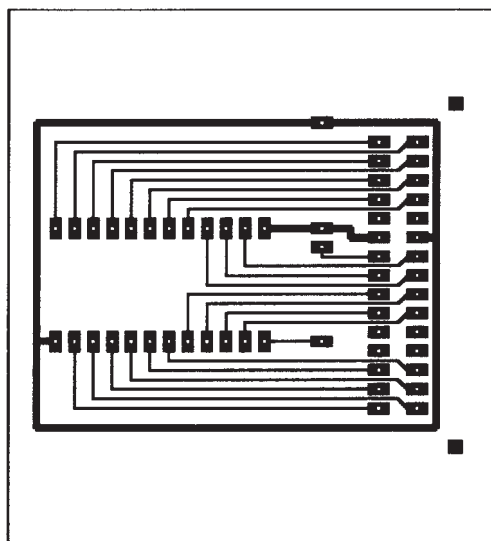
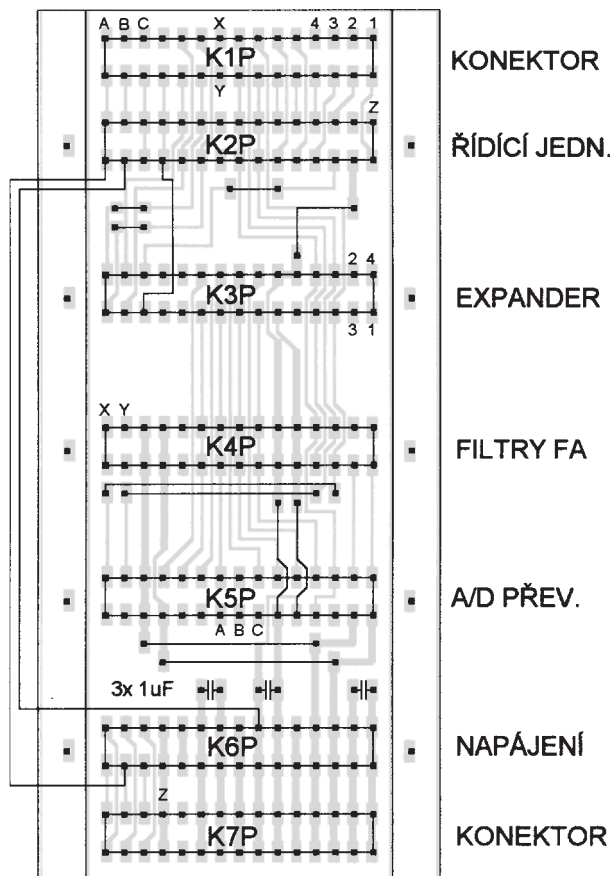
- [5] Tesla: Analogové integrované obvody pro převodníky (1986).
- [6] Amatérské radio řady A :
7/81: Devítipásmový nf korektor,
8/91: Indikátor vybuzení s přesnou logaritmickou stupnicí.
- [7] Amatérské radio řady B :
3/82: Operační zesilovače,
4/82: Impulsně regulované zdroje,
6/87: Dálkové ovládání výrobků spotřební elektroniky,
3/90: Moderní operační zesilovače,
6/93: Paměť EEPROM 93C46.



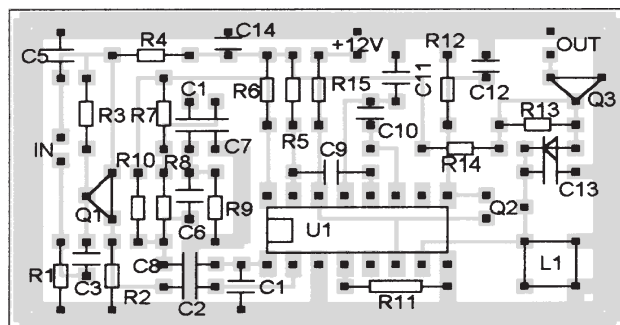
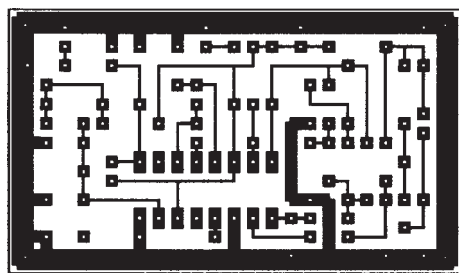
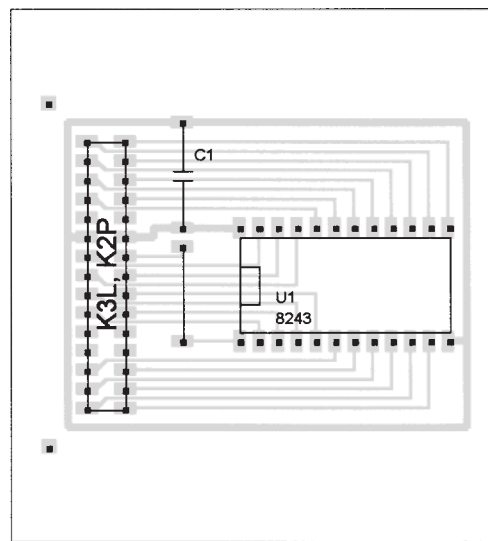
Obr. 1. Levá konektorová deska (kresleno ze strany spojů)



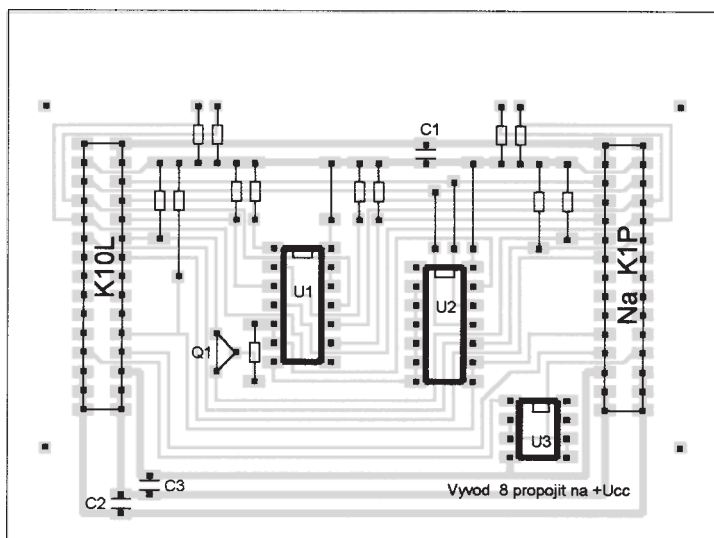
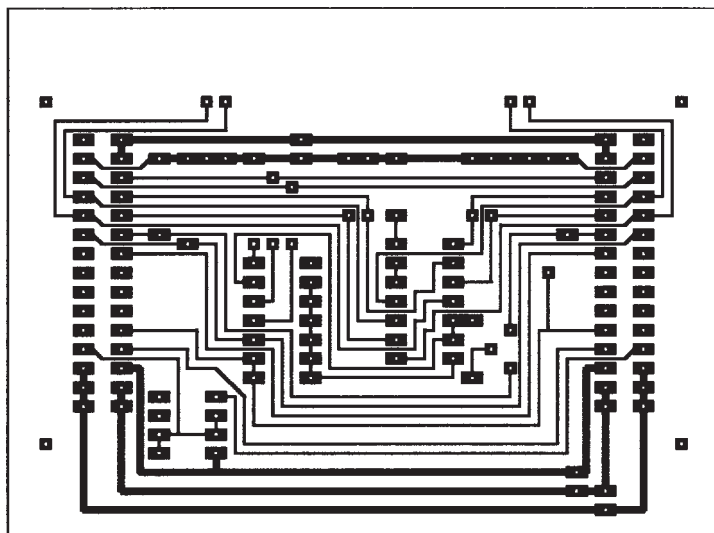
Obr. 2. Pravá konekto-
rová deska (kresleno
ze strany spojů), body,
označené písmeny, je
třeba propojit vodičem



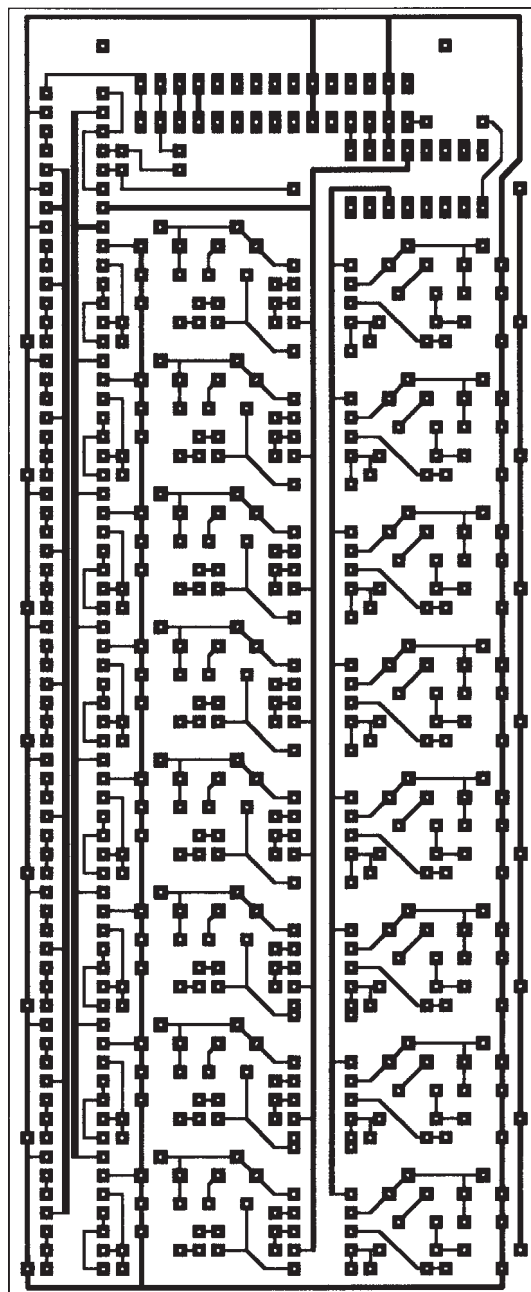
Obr. 3. Deska
s plošnými spoji
expanderu



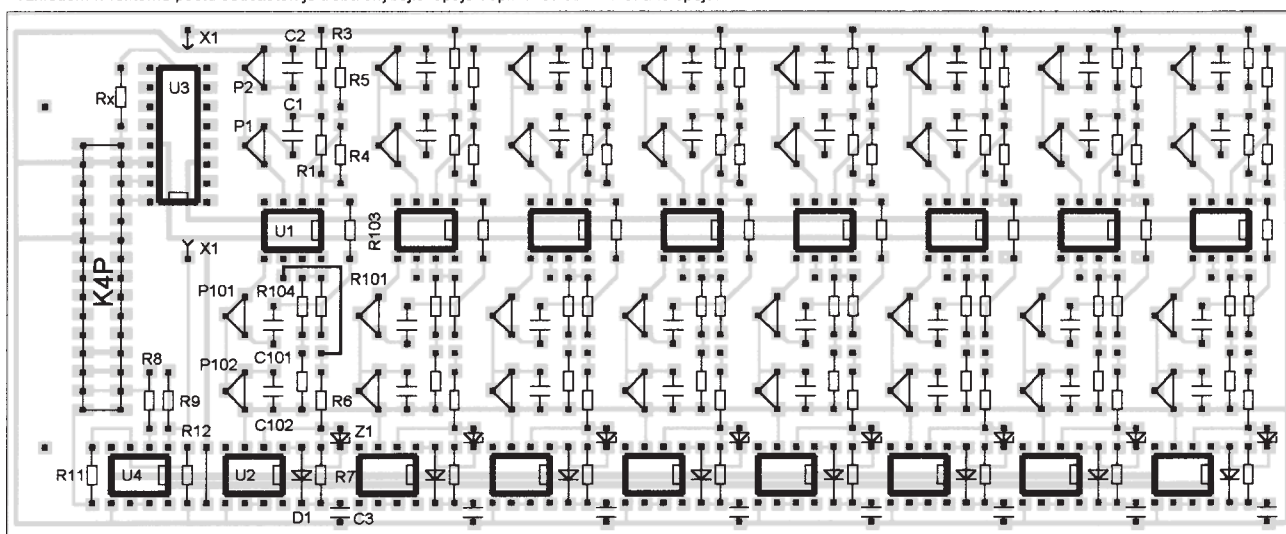
Obr. 4. Deska s plošnými spoji předzesilovače dálkového ovládání



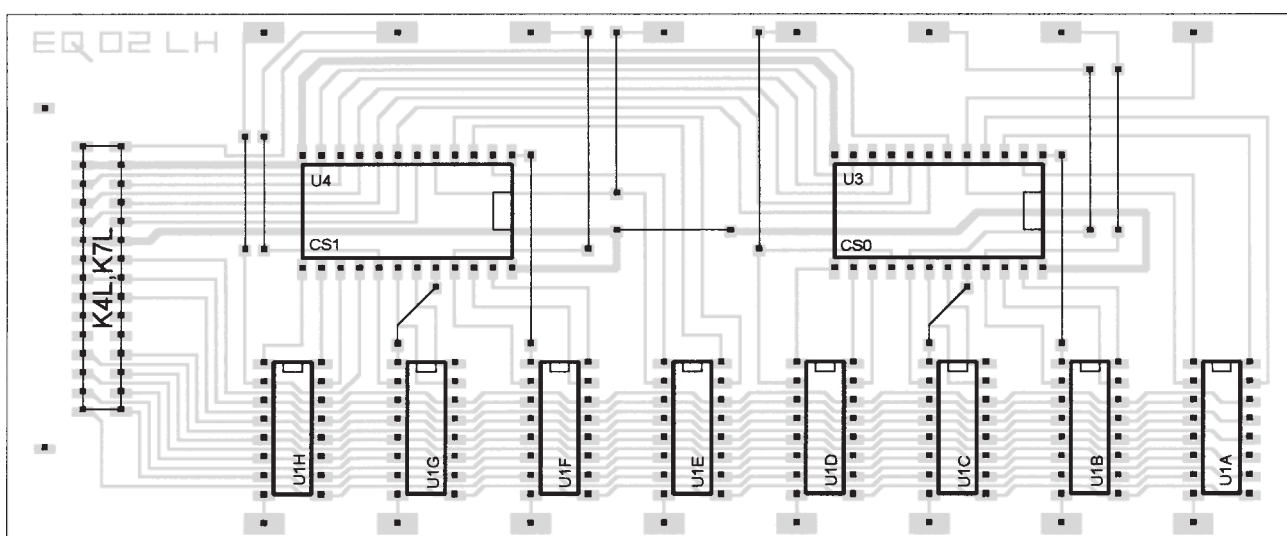
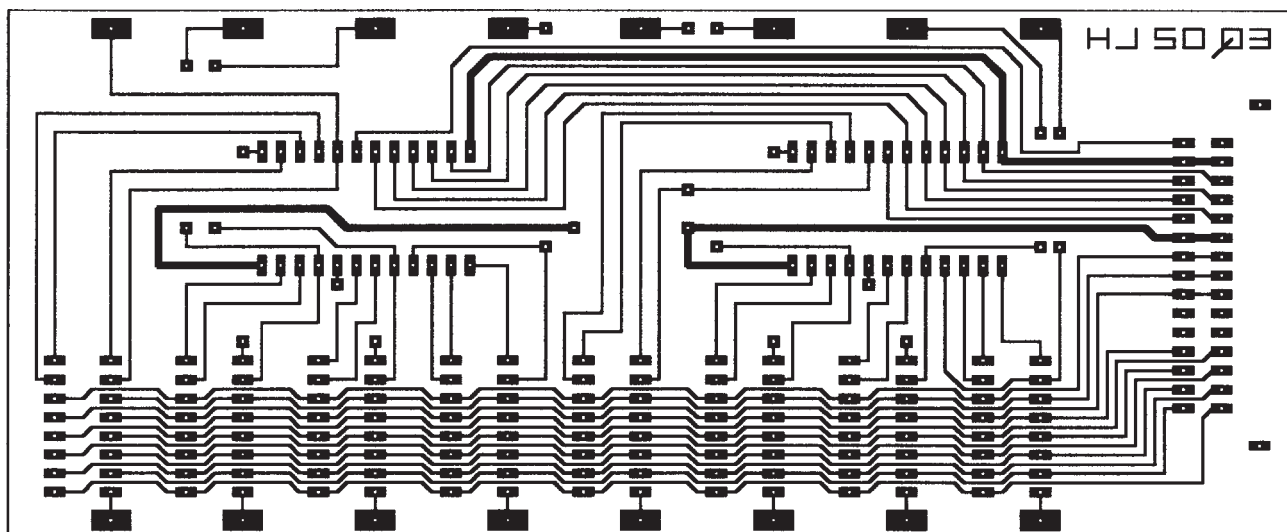
Obr. 5. Deska s plošnými spoji oddělovací desky



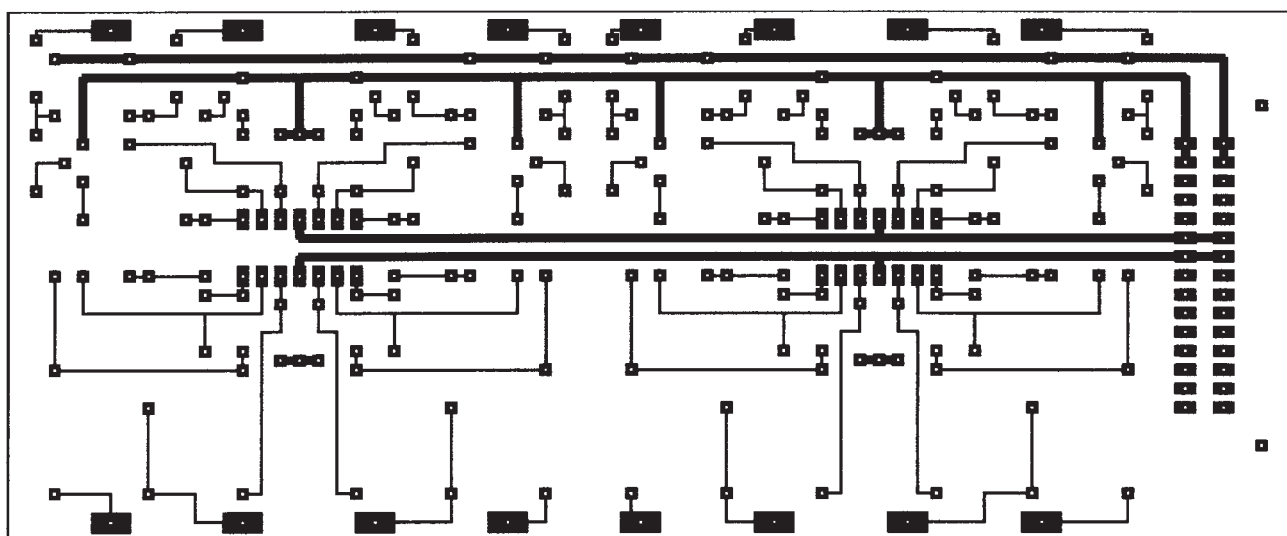
Vzhledem k velkému počtu součástek je třeba chybějící spoje doplnit vodičem na straně spojů.



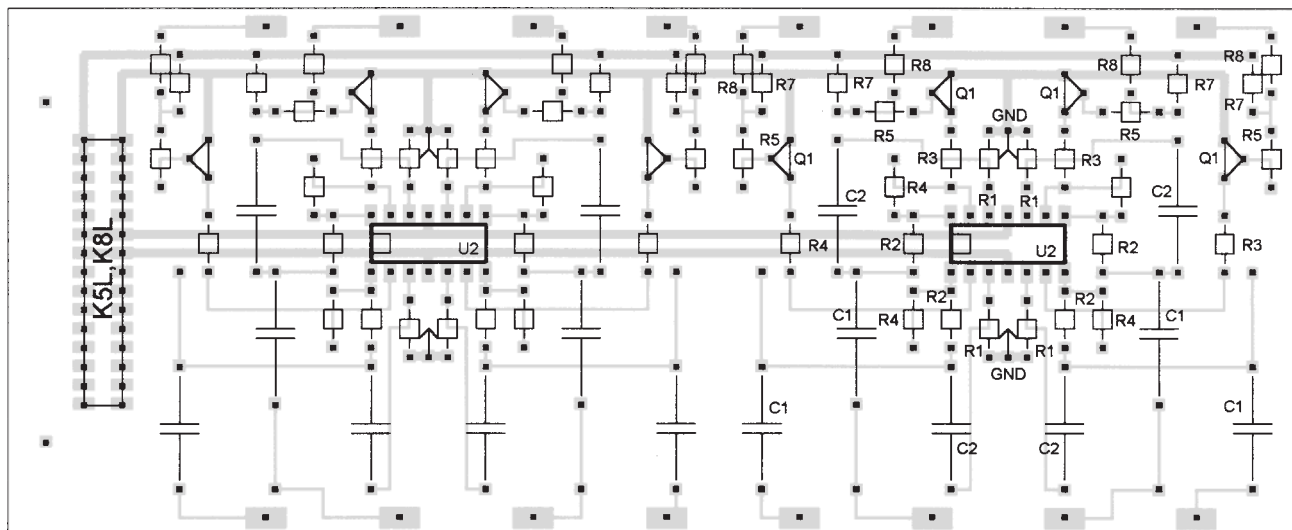
Obr. 6. Deska s plošnými spoji frekvenčního analyzáru



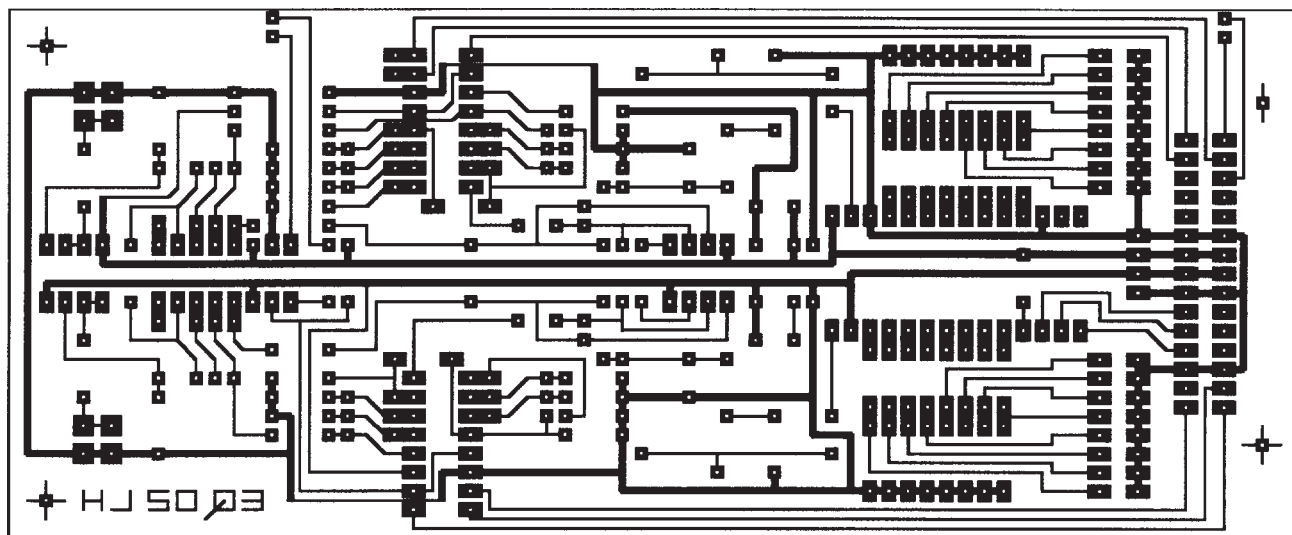
Obr. 7. Deska s plošnými spoji multiplexerů a deska, osazená součástkami



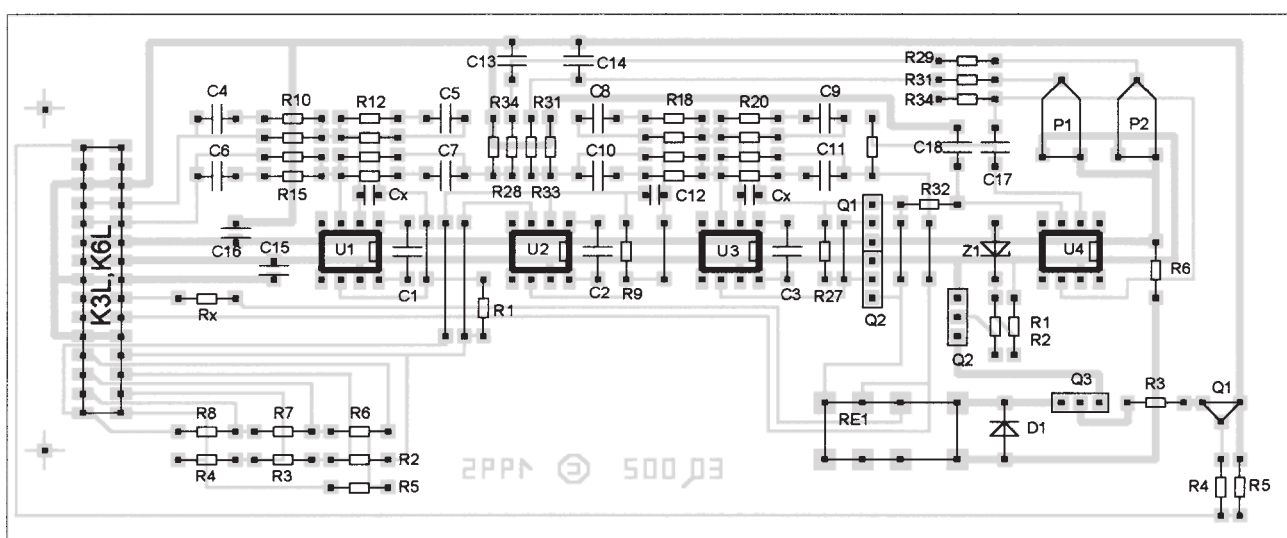
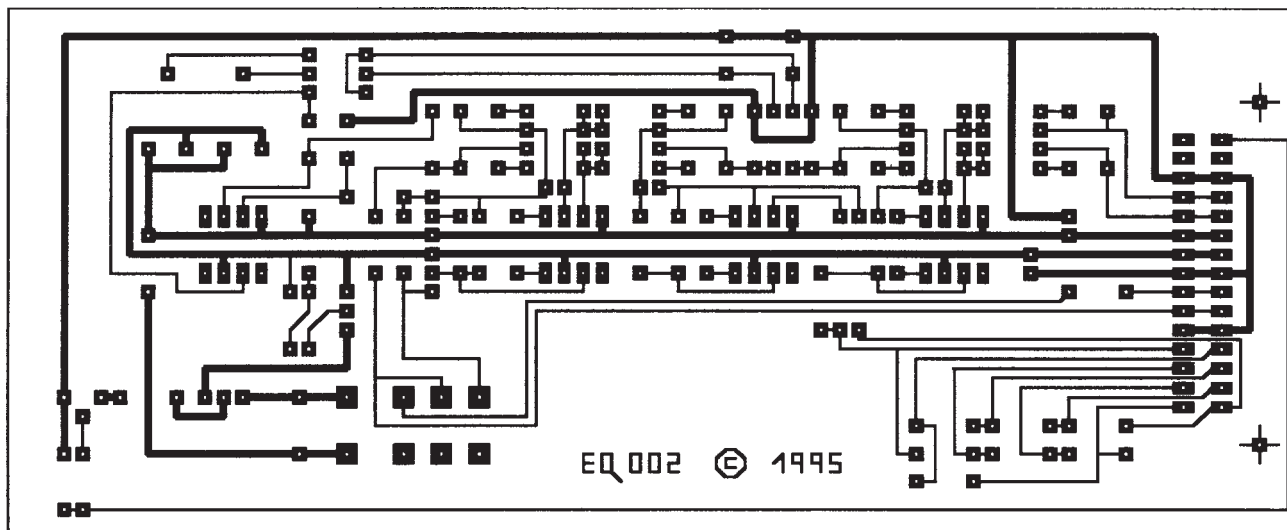
Obr. 8a. Deska s plošnými spoji rezonančních obvodů



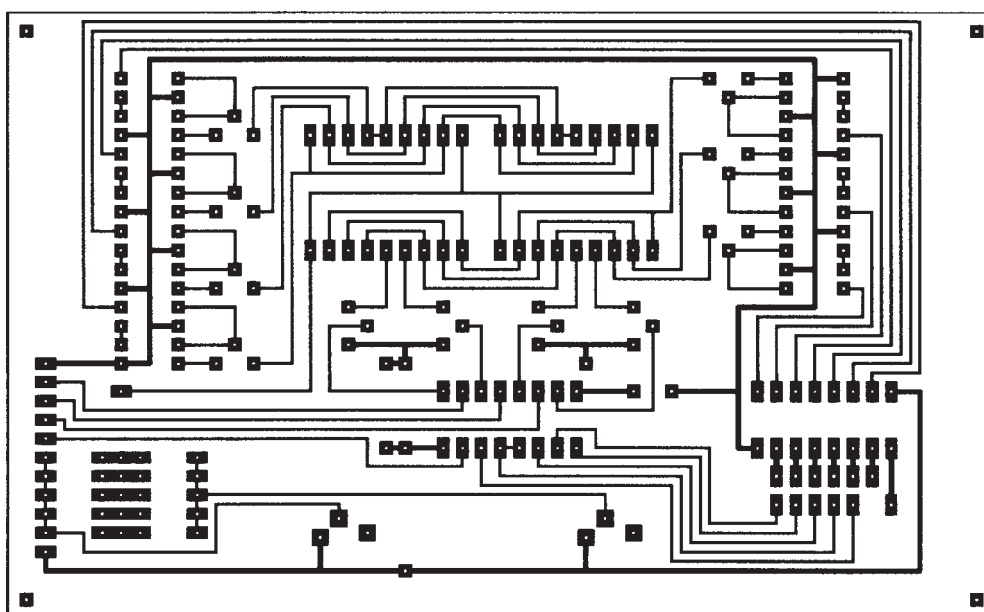
Obr. 8b. Deska s plošnými spoji rezonančních obvodů, osazená součástkami

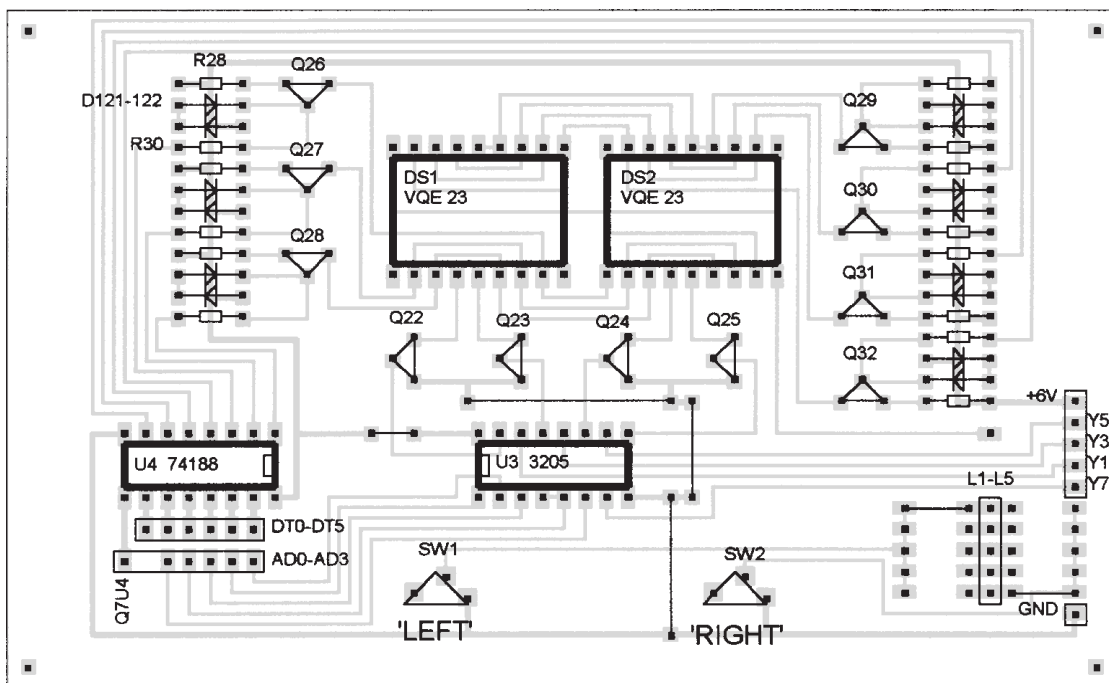


Obr. 9. Deska s plošnými spoji vstupní jednotky a deska, osazená součástkami

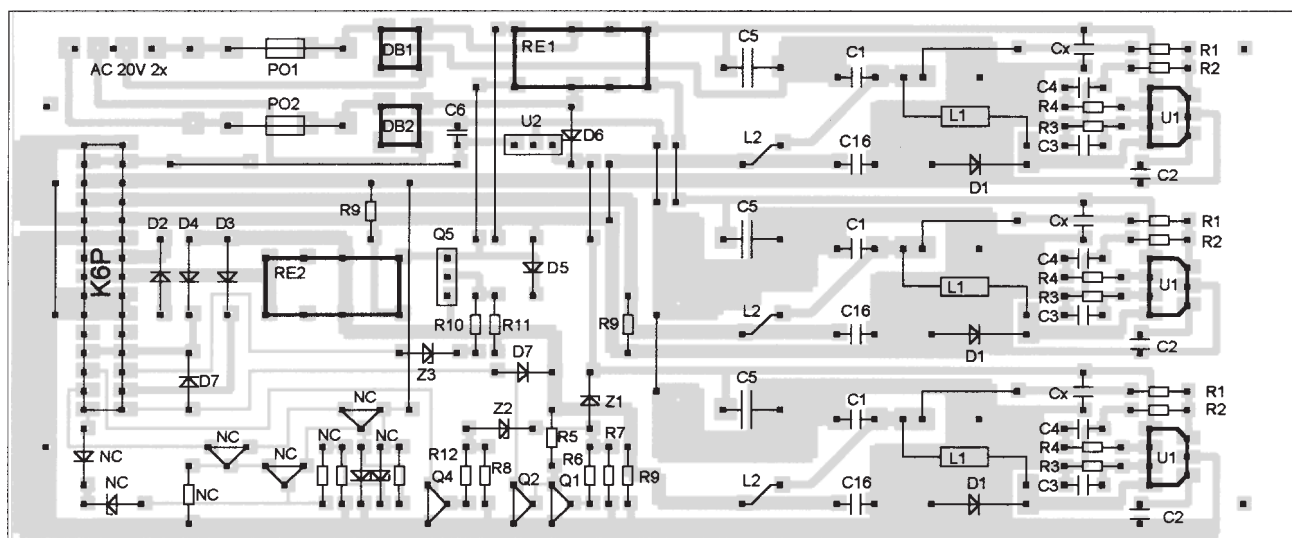
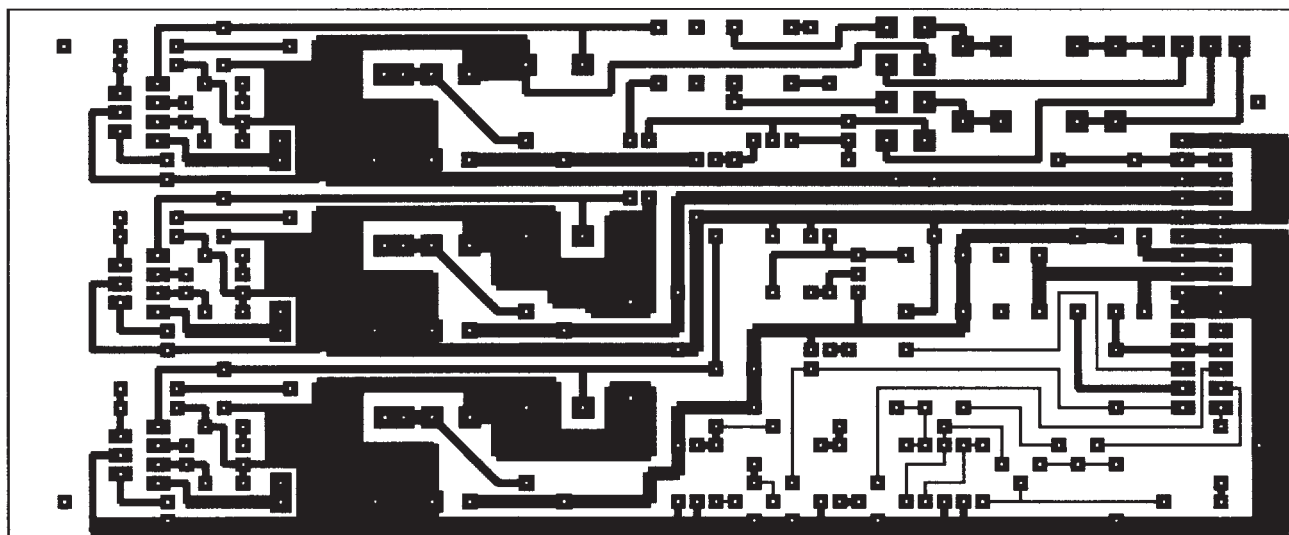


Obr. 10. Deska s plošnými spoji korekčních obvodů a deska, osazená součástkami

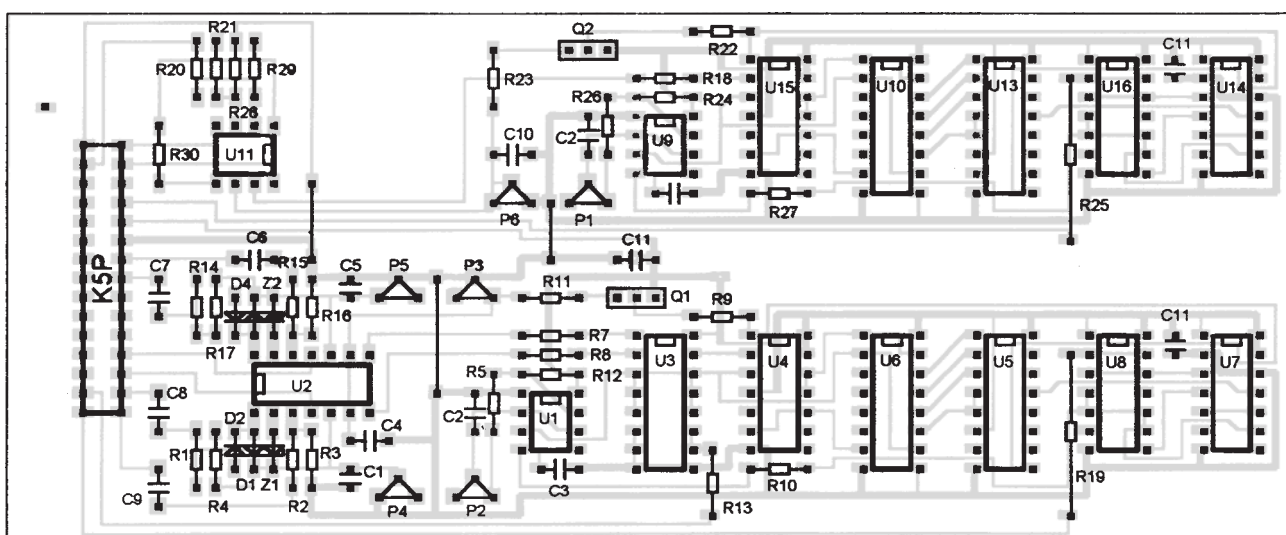
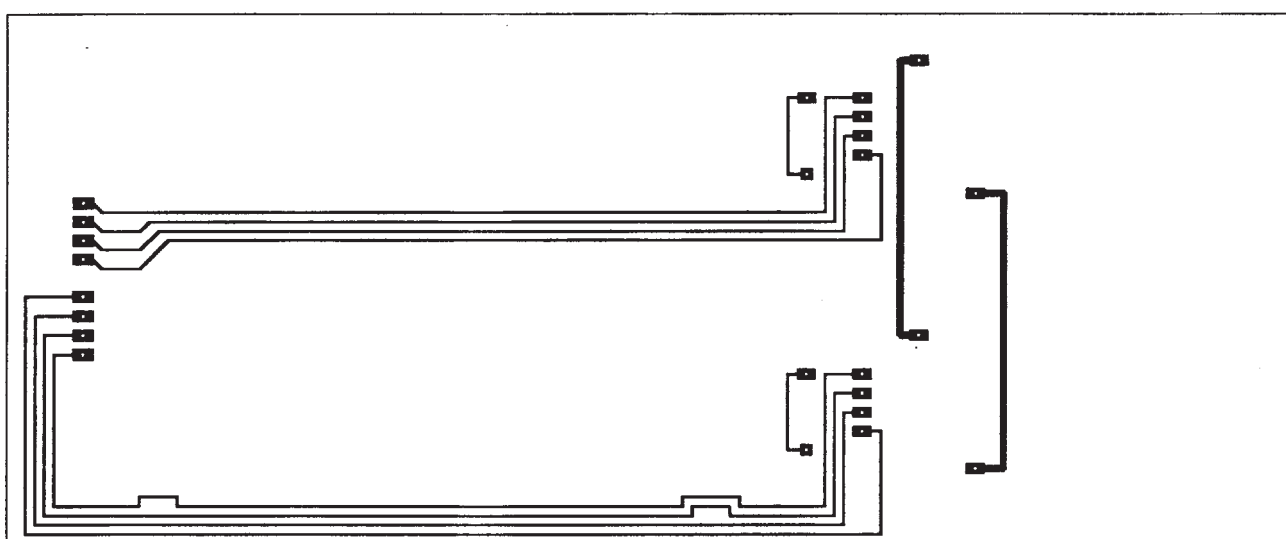
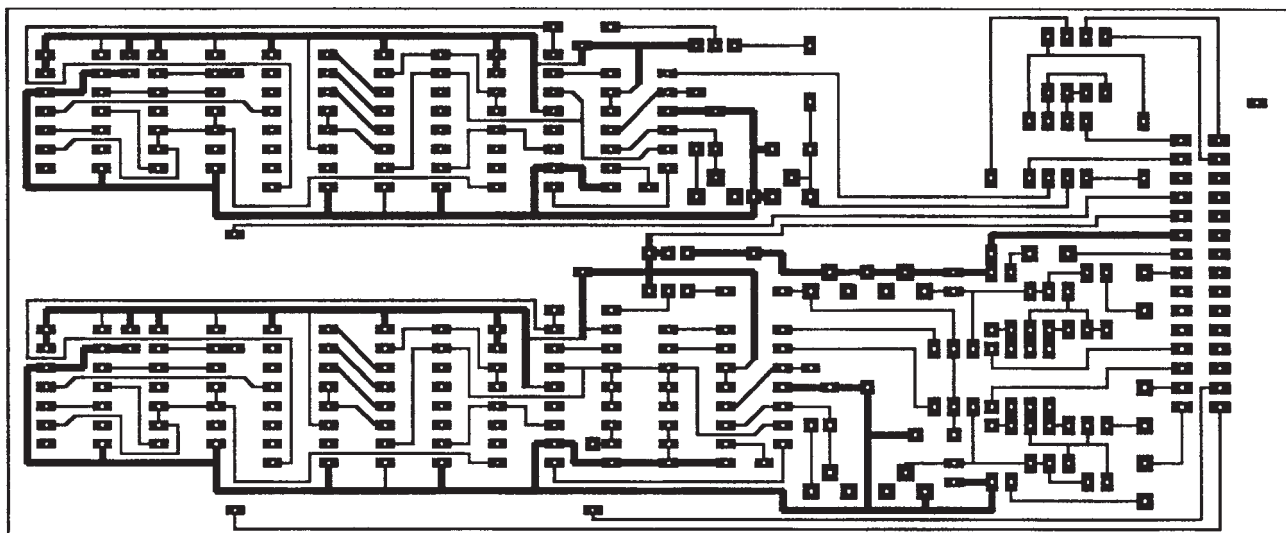




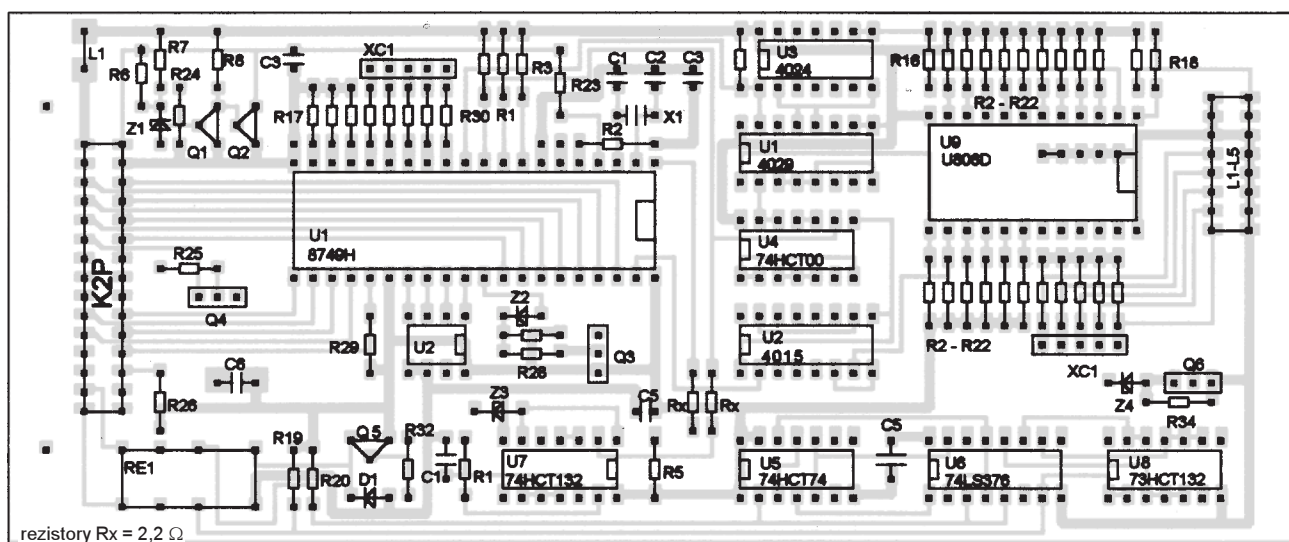
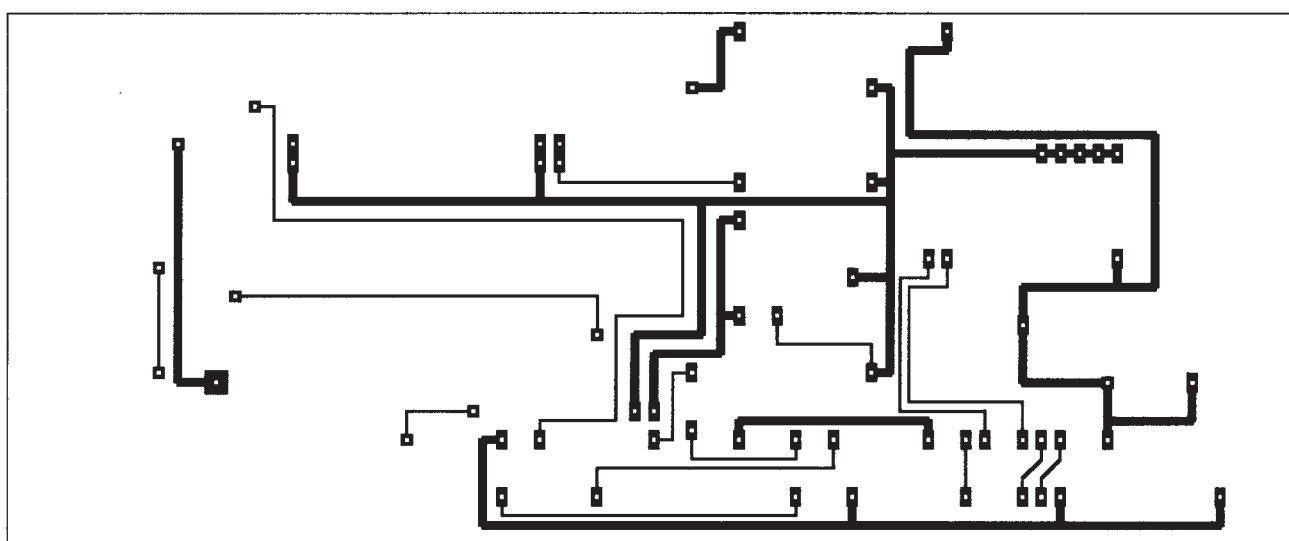
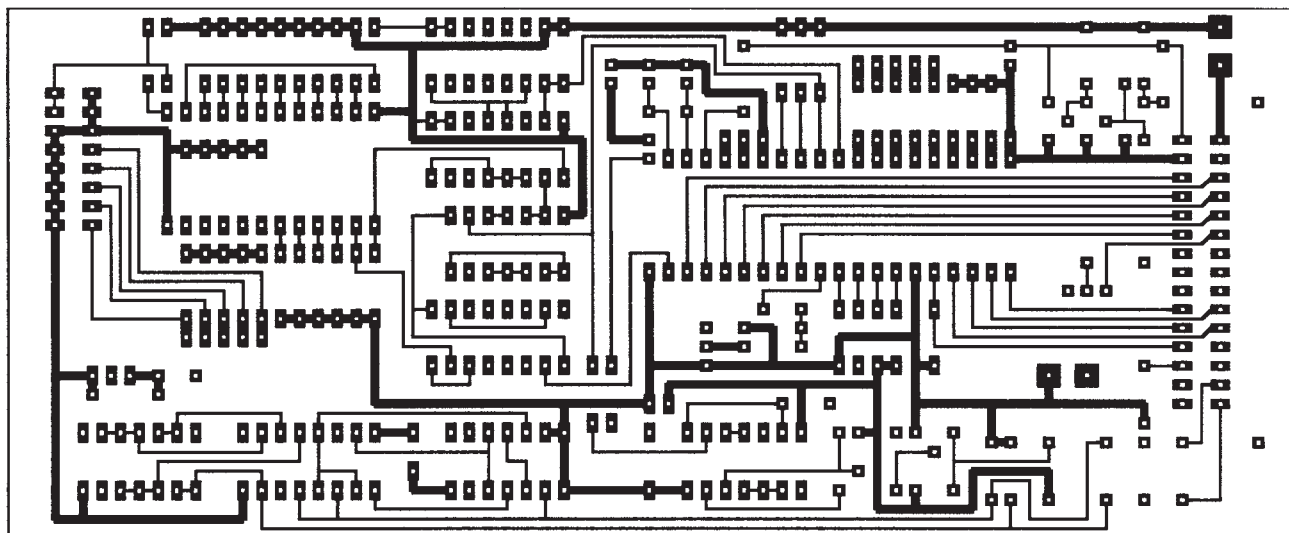
Obr. 11b. Osazená deska s plošnými spoji displeje I



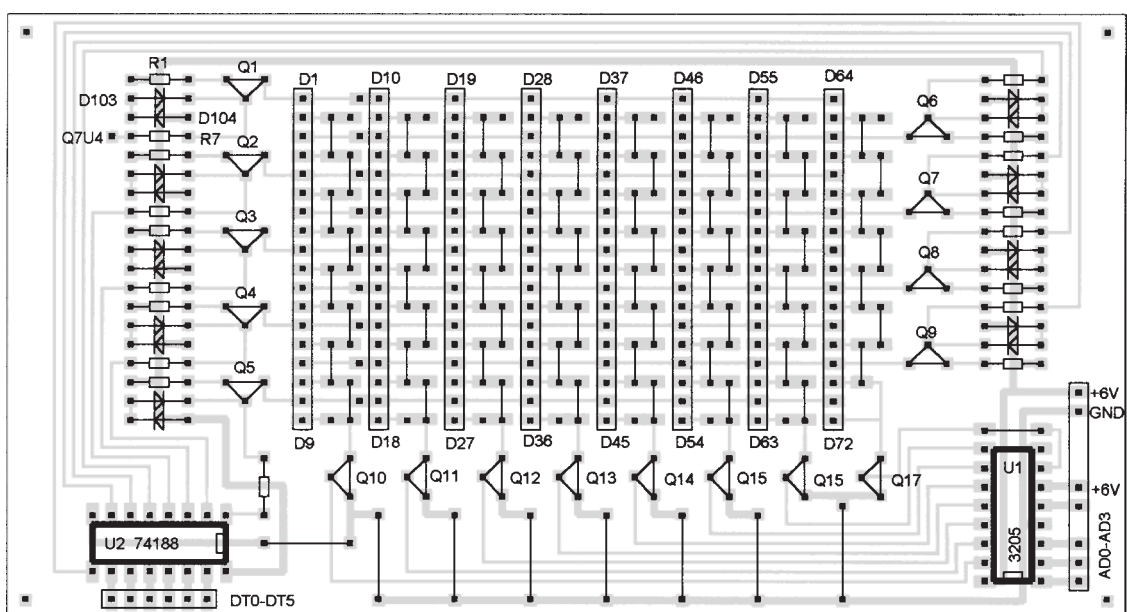
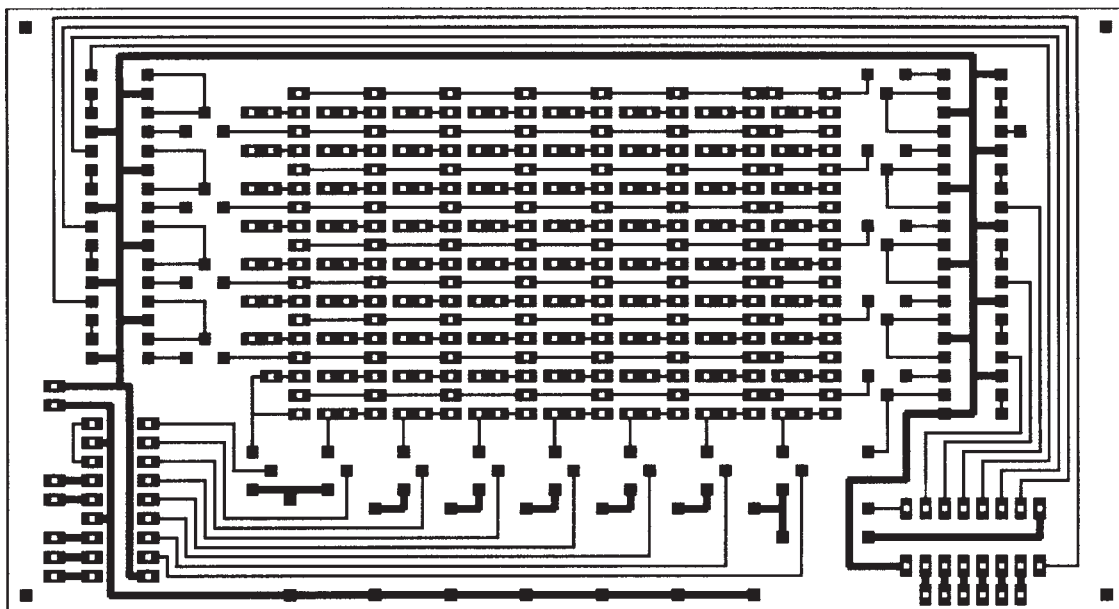
Obr. 12. Deska s plošnými spoji zdroje a deska, osazená součástkami



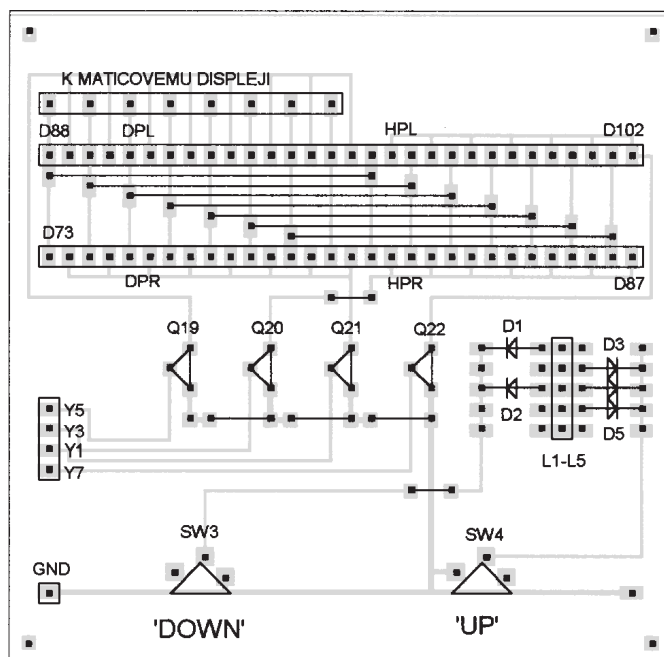
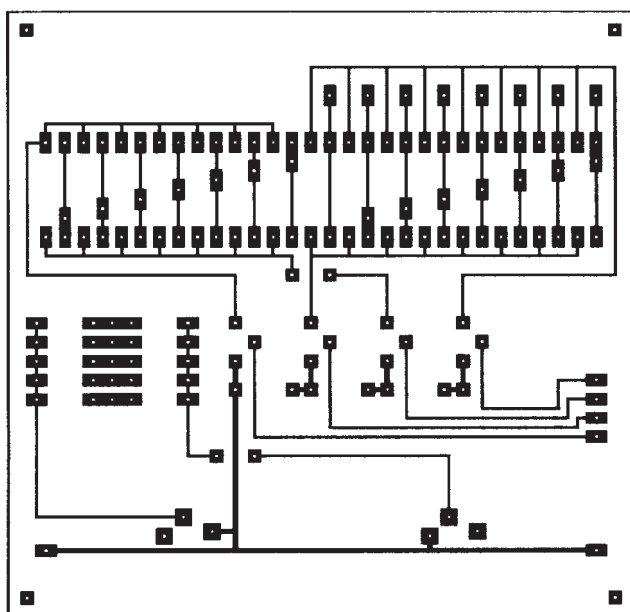
Obr. 13. Dvoustranná deska s plošnými spoji převodníků A/D a deska, osazená součástkami



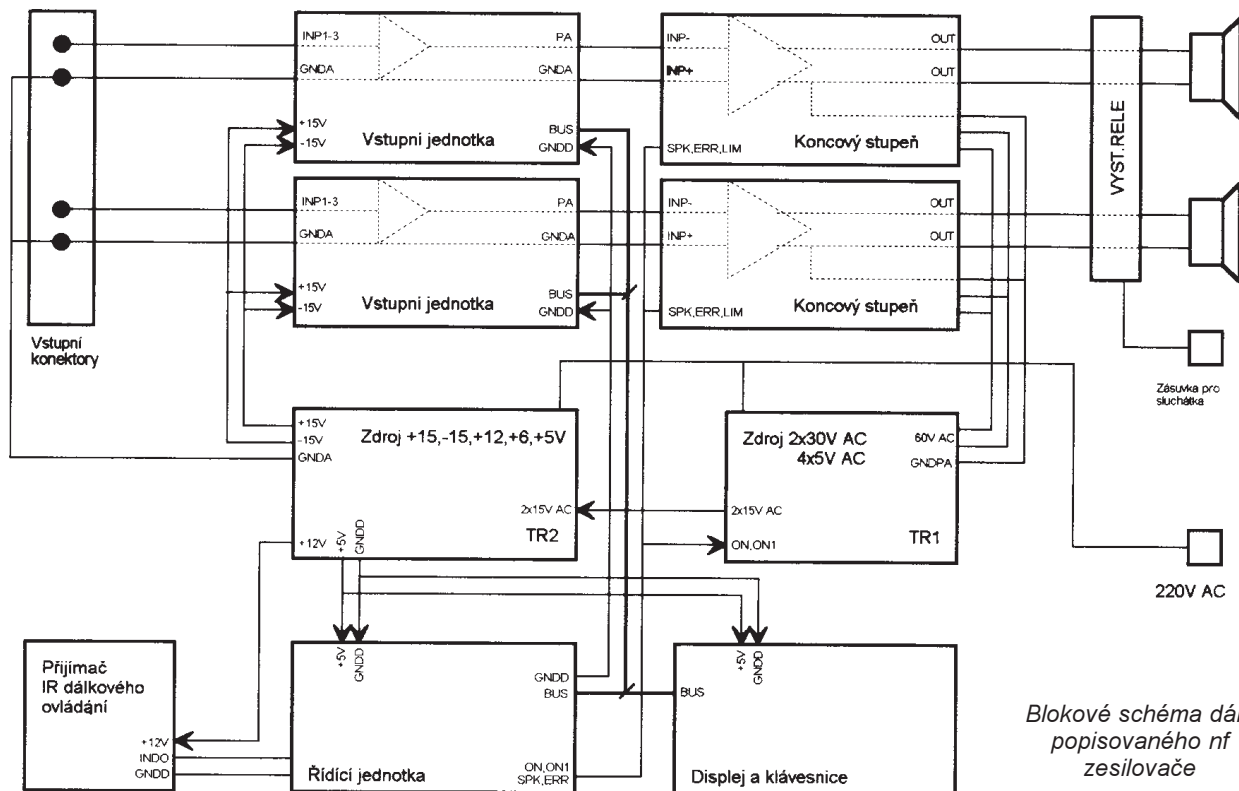
Obr. 14. Dvoustranná deska s plošnými spoji řídicí jednotky a deska, osazená součástkami



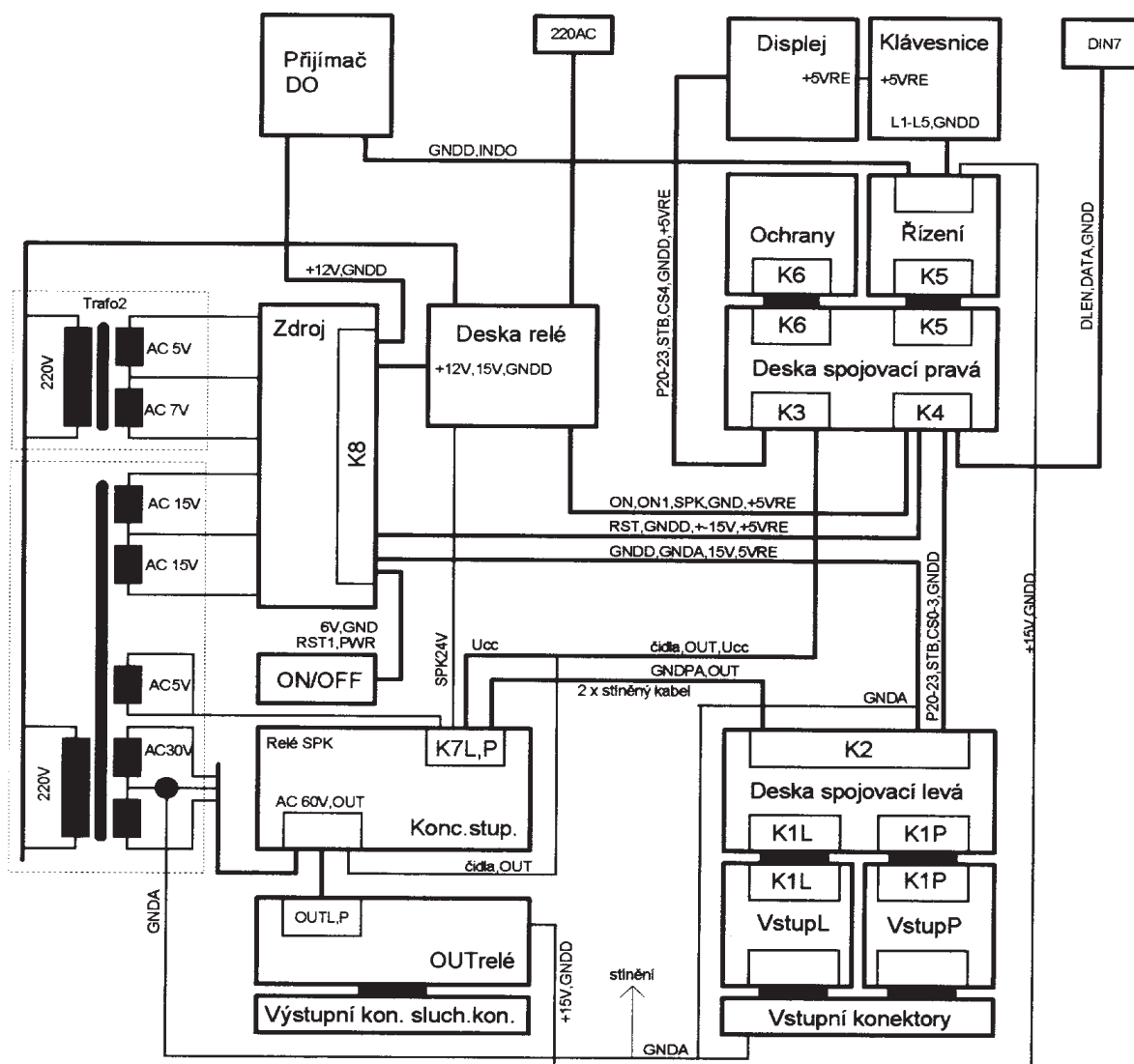
Obr. 15. Deska s plošnými spoji maticového displeje



Obr. 16. Deska s plošnými spoji displeje II (VU-metr)



Blokové schéma dále popisovaného nf zesilovače



Propojení bloků dále popisovaného nf zesilovače

Nf ZESILOVAČ ŘÍZENÝ MIKROPROCESOREM

Ing. Ladislav HAVLÁT

Úvod

Nizkofrekvenční zesilovač je zařízením, které bylo již nesčetněkrát popsáno a uveřejněno. Mohlo by se zdát, že na tomto poli již není co vylepšovat. Ne vždy je však kvalita na prvním místě, mnohdy hraje velkou roli také složitost a cenová dostupnost. Popisovaný přístroj by chtěl patřit k tomu lepšímu, co se na stránkách časopisů objevilo a to jak co se týká technických parametrů, tak komfortu ovládání. Obsahuje řídicí mikroprocesor, což ve spojení s dálkovým ovládáním a pamětí EEPROM skýtá velké přednosti. Přitom je kladen důraz na precizní obvodové řešení signálové části. Je plně slučitelný s dříve popisovaným ekvalizérem. Koncept je zesilovač určen pro zájemce, kteří si chtějí vlastnoručně zhotovit zařízení velmi dobrých parametrů, určené především pro bytové poslech.

Popis funkčních bloků

Vstupní jednotka

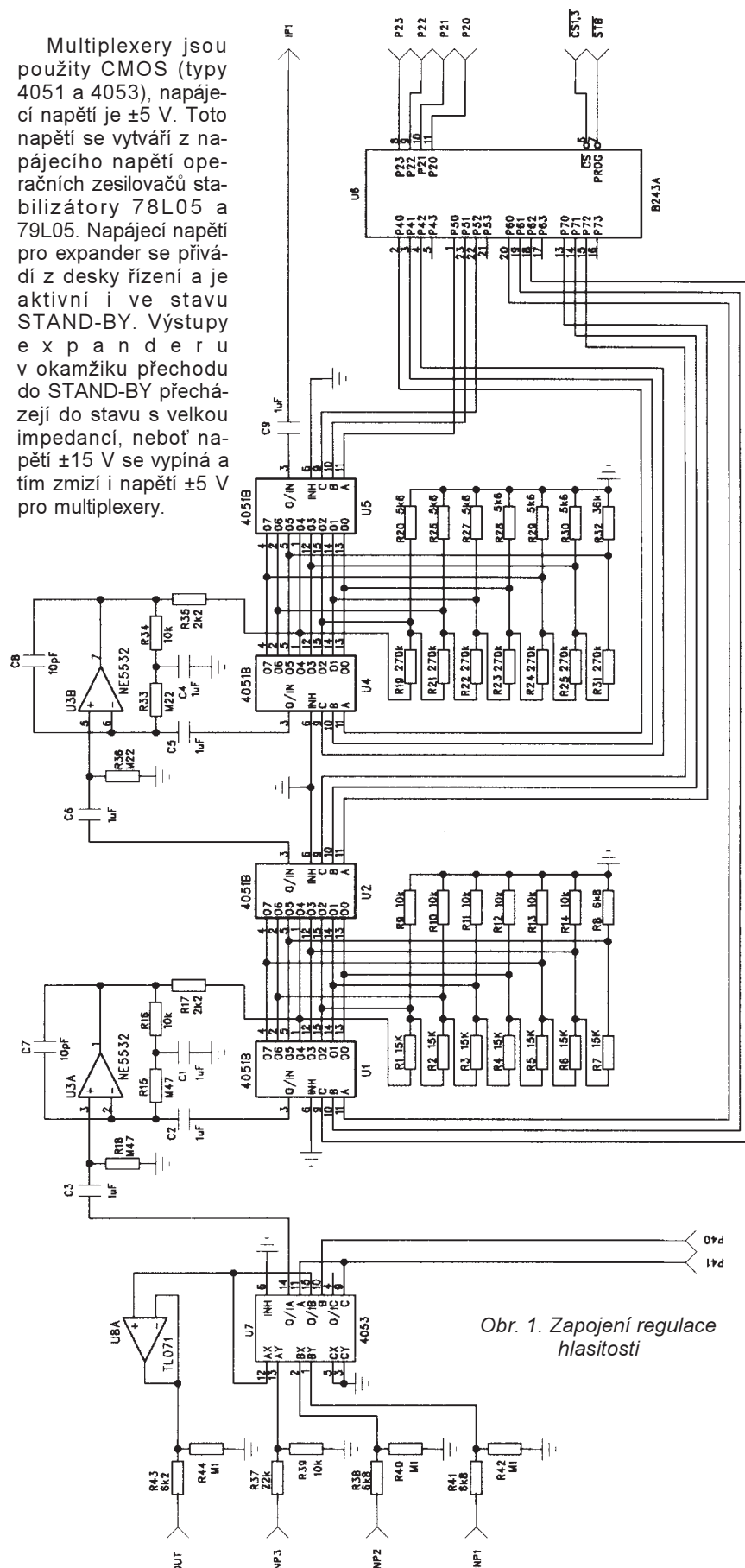
Řízení citlivosti a hlasitosti

Zapojení je na obr. 1. Vstupní jednotka má tři vstupy a jeden linkový výstup (spolu se vstupem č.3 pro připojení ekvalizéru). Koncept řízení zesílení vychází z odporových „žebříčků“ s rezistory, přepínaných multiplexery do zpětné vazby operačního zesilovače. Celkem jsou tyto multiplexery čtyři. Hrubý dělič má 8 stupňů po 10 dB a jemný 8 stupňů po 1,25 dB. Zapojení umožňuje využívat odporovou síť jak ve zpětné vazbě, tak i v přímé cestě signálu a tak řídit jak zesílení, tak i zeslabení signálu. Dosáhneme tedy celkového řízení přenosu od -80 dB do +80 dB. Takto můžeme sloučit řízení citlivosti i hlasitosti do jednoho regulátoru. Na rozdíl od klasických zařízení tedy nemá konkrétní vstup pevně danou citlivost (pro kterou při regulátoru hlasitosti nastaveném na maximum dosáhneme právě limitace výstupního signálu), ale může ji mít programově zvolenu. Tato tzv. základní citlivost je tedy 5 mV až 5 V pro vstupy č. 1 a 2, nebo 15 mV až 15 V pro vstup č. 3 (viz článek Popis jednotlivých funkcí).

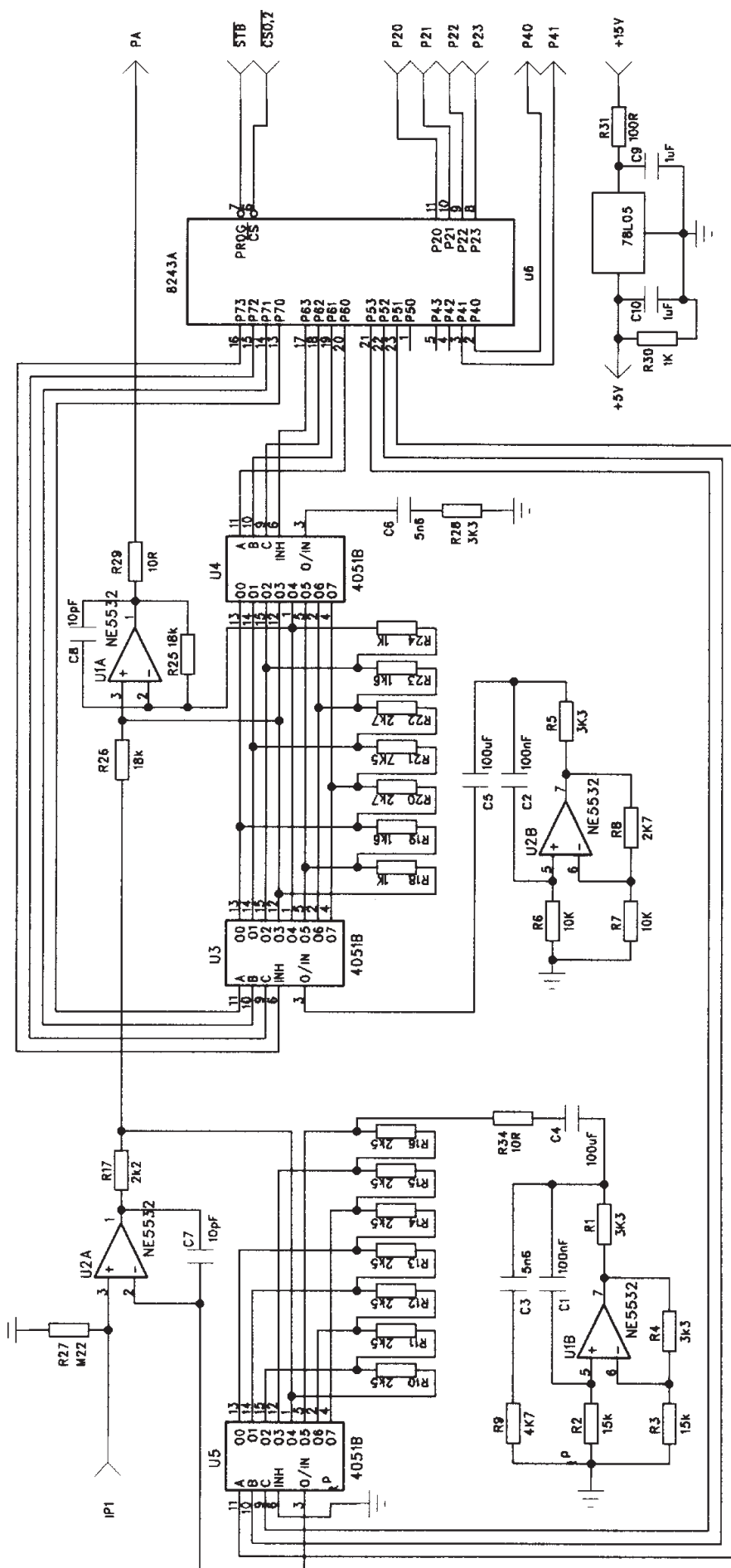
Řízení multiplexerů zabezpečuje řídicí jednotka prostřednictvím obvodu U6 (expander pro zvětšení počtu vstupů a výstupů, typ 8243). Výstupy nejsou zapojeny v číselném pořadí, byl respektován nejvýhodnější návrh desky s plošnými spoji.

Multiplexery jsou použity CMOS (typy 4051 a 4053), napájecí napětí je ± 5 V. Toto napětí se vytváří z napájecího napětí operačních zesilovačů stabilizátory 78L05 a 79L05. Napájecí napětí pro expander se přivádí z desky řízení a je aktivní i ve stavu STAND-BY. Výstupy expanderu v okamžiku přechodu do STAND-BY přecházejí do stavu s velkou impedancí, neboť napětí ± 15 V se vypíná a tím zmizí i napětí ± 5 V pro multiplexery.

Oba kanály mají samostatné desky s plošnými spoji, elektricky naprosto shodné. Realizace vstupní jednotky zabezpečuje, že při zvětšování signálu na vstupu (přebuzení) se jako první dostane do limitace koncový stupeň,



Obr. 1. Zapojení regulace hlasitosti



Obr. 2. Zapojení korekcí

což je velmi příznivé z hlediska zkreslení. Při přepínání multiplexeru se nesmí měnit stejnosměrné poměry v obvodu, jinak vzniká nepříjemné lupání. Proto se přepíná pouze střídavá složka signálu. Pro minimální stejnosměrný offset musí mít rezistory R18, R15 a R36, R33 stejný odpor. Další potlačení lupání je vyřešeno programově a to tak, že před změnou nastavení hlasitosti se potlačí výšky na -16 dB a po přepnutí se nastavení výšek vrátí na původní úroveň.

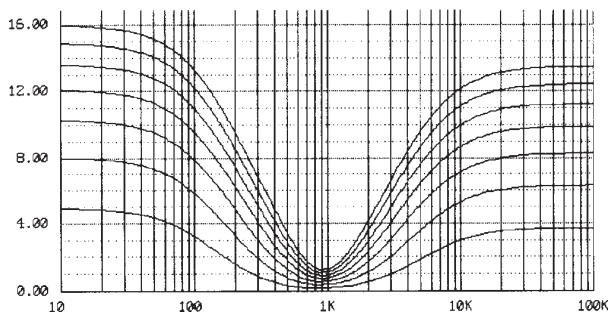
Pro vyrovnanou kmitočtovou charakteristiku v oblasti nejnižších kmitočtů (pod 10 Hz) při velkém nastaveném zesilení je třeba dodržet kapacity kondenzátorů C1, C2, C4, C5 a odpory rezistorů R15, R16, R33, R34.

Korekční obvody

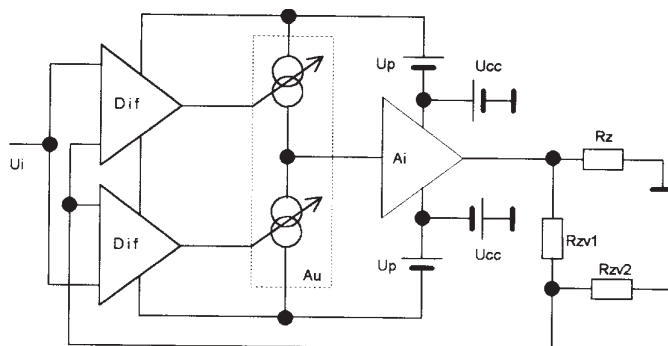
Zapojení obvodů korekcí je na obr. 2. Jedná se o korekce basů, výšek a fyziologické řízení hlasitosti. Rozsah korekcí je od -16 dB do +16 dB v 9 krocích po 4 dB. Fyziologie zdůrazňuje signály nízkých a vysokých kmitočtů při menších hlasitostech a tak koriguje vlastnosti lidského ucha.

Řízení korekčních obvodů zabezpečuje řídicí jednotka přes expander. Regulaci signálů vysokých kmitočtů řídí multiplexer U4 ve spojení s C6 a R28, signálů nízkých kmitočtů obvod U3 ve spojení se syntetickou indukčností z U2B a pasivních součástek, C5 odděluje stejnosměrnou složku signálu. Fyziologické řízení hlasitosti zabezpečuje paralelní rezonanční obvod RLC, tvořený U2B a příslušnými pasivními součástkami. Korekce i řízení fyziologie jsou trvale přímo připojeny na vstup koncového stupně, klade to vysoké nároky na šumové vlastnosti operačních zesilovačů. Velikost šumového napětí se téměř nemění se změnou hlasitosti, naopak při větší hlasitosti se zmenšuje vlivem menšího zisku obvodu fyziologie.

Záměnou pořadí obvodů korekcí a řízení hlasitosti by obvod ztratil dvě hlavní výhody - společné řízení citlivosti a hlasitosti a nepřebuditelnost vstupních obvodů. Z těchto důvodů je třeba použít jako operační zesilovače typy NE5532 nebo lepší (např. LT1007, popř. LT1028 apod). Ve vstupní jednotce (i v koncovém stupni) je nutné použít kvalitní také pasivní součástky. Znamená to metalizované rezistory s přesností minimálně 5 %, lépe 1 % (zvláště v obvo-



Obr. 3. Kmitočtové charakteristiky obvodu fyziologického řízení



Obr. 4. Blokové schéma koncového zesilovače

dech elektronických potenciometrů pro nastavení zesílení). Všechny kondenzátory, které jsou v přímém styku se signálem (vazební, oddělovací), musí být zásadně pouze fóliové, nikdy ne elektrolytické nebo keramické.

Koncový stupeň

Zapojení koncového stupně je na obr. 5 a 13. Je to celosymetrické zapojení se stejným směrem servosmyčků (integrovaný obvod U1).

Jako každý moderní zesilovač výkonu skládá se i tento zesilovač ze tří základních stupňů: diferenčního, napěťového a proudového. Na každém z nich závisí sice určitý parametr zesilovače jako celku, ale většina parametrů závisí na všech stupních současně. Proto musí být každý jednotlivý stupeň optimalizován, aby výsledné parametry byly co nejlepší.

Napájecí napětí koncového stupně je nestabilizované, usměrňovač a filtrační kondenzátory jsou umístěny na desce zesilovače. Desky jsou pro každý z kanálů samostatné, elektricky shodné. Napěťový zisk koncového stupně je asi 16 dB, vstup je symetrický, vstupní napětí pro plný výkon je maximálně 5 V.

Diferenční zesilovač

Jeho hlavní úkolem je vytvořit dva komplementární vstupy zesilovače: invertující a neinvertující. Dalším úkolem je zajistit zesílení signálu na takové napěťové a proudové úrovni, které je schopen zpracovat napěťový stupeň (napěťové zesílení diferenčního stupně je asi 25 dB). Kromě toho závisí především na diferenčním zesilovači šumové vlastnosti a stejnosměrný offset celého zesilovače. Co nejmenší vlastní šum je tedy samozřejmým požadavkem na vstupní tranzistory. Takové tranzistory však mají poměrně malé závěrné napětí, proto jsou pomocí napěťových převodníků v zapojení se společnou bází (Q1, Q2 a Q5, Q6) připojeny na napětí pouze 15 V. Konstantní napětí U_{CE} je také vhodné vzhledem k potlačení soufázového signálu a potlačení vlivu kapacity C_{BC} .

Z hlediska stejnosměrných vlastností je třeba, aby dvojice tranzistorů Q3, Q4 a Q7, Q8 měly shodné vstupní charakteristiky a proudové zesílení (vhodné je vybírat z většího počtu kusů). Obě diferenční dvojice jsou napájeny ze zdrojů konstantního proudu (Q9, Q10).

Vstup zesilovače je řešen jako symetrický, je to výhodné vzhledem k vyloučení zemních smyček. Koncový stupeň je zapojen jako invertující, tím zmenšíme vliv vstupního soufázového napětí na zkreslení signálu. Oba vstupy je třeba připojit stíněným kabelem.

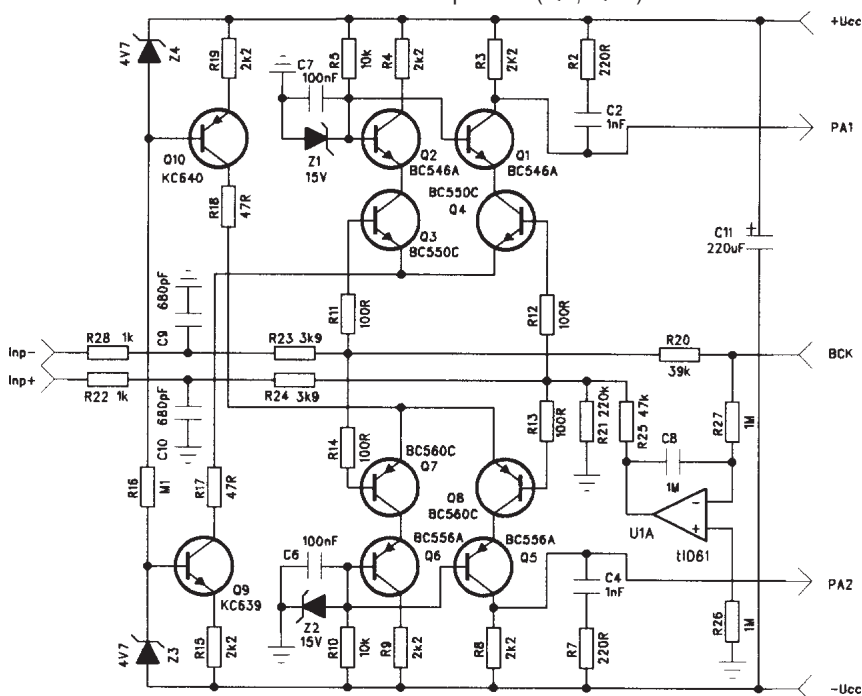
Napěťový zesilovač

Zajišťuje podstatnou část napěťového zesílení celého zesilovače. Pro dosažení malého zkreslení je třeba, aby zesílení naprázdno (bez zpětné vazby) bylo co největší. Přibližně platí - kolikrát je zesílení naprázdno větší než při zapojené zpětné vazbě, tolikrát se zapojením zpětné vazby zmenší zkreslení. Této skutečnosti však nelze zneužívat a je samozřejmě třeba, aby i bez zpětné vazby bylo zkreslení co nejmenší. V subjektivním hodnocení kvality zesilovače nemusí však být zkreslení dominantní. Neméně důležité je „korektní“ chování zesilovače v nestandardních pracovních podmínkách, zejména v limitaci. Dostane-li se zesilovač do limitace, přestává působit záporná zpětná vazba a všechny aktivní součástky jsou řízeny neúměrně vstupnímu signálu. Uplatňuje se především jev nasycení tranzistoru. Je lze charakterizovat takto [8]:

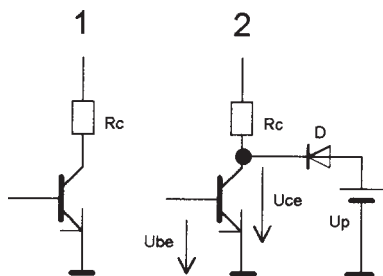
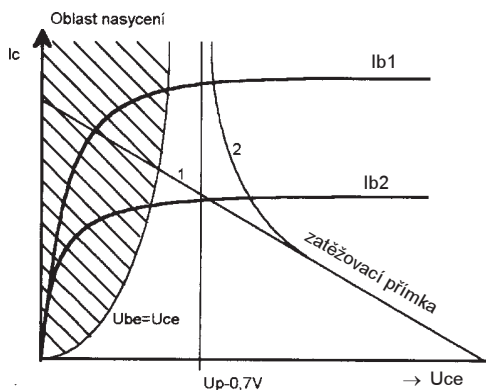
- 1) Oblast báze je přesycena nosiči náboje, které se nepodílejí na zvětšování proudu kolektoru. Proud báze tedy není úměrný proudu kolektoru.
- 2) Napětí $U_{CE} \leq U_{BE}$.
- 3) $U_{CB} \leq 0$, přechod BC je polarizován propustně.

Hlavním negativním důsledkem saturace je, že při zániku proudu I_B se proud I_C vlivem přesycení báze začne zmenšovat až po určitém čase. Tato doba je podstatně delší, než by odpovídalo běžnému nenasyčenému stavu. Protože návrat ke schopnosti zesilovat je u každého tranzistoru různě dlouhý, je provázen různými záškrtami a překmity výstupního signálu. Také se zhoršuje stabilita zesilovače. Je tedy nanejvýš žádoucí nasycení zabránit, nebo je alespoň omezit.

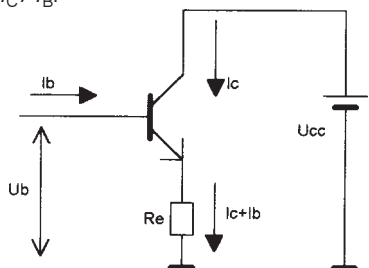
Jakým způsobem lze nasycení zabránit? Je třeba nedovolit, aby se pracovní bod dostal do oblasti, vymezené křivkou $U_{BE} = U_{CE}$ (obr. 6). Proberme nyní postupně jednotlivé možnosti zapojení tranzistoru z hlediska možnosti nasycení. V zapojení SK (obr. 7) ne-



Obr. 5. Koncový stupeň, část I

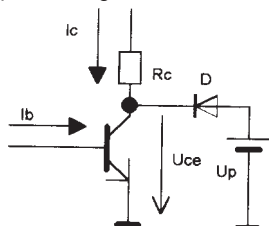


Obr. 6. Výstupní charakteristiky tranzistoru a antisaturační obvod nastane nasycení za předpokladu, že $U_B < U_{CC}$. Potom není možné vlivem odporu R_E přivést do báze větší proud, než jaký odpovídá vztahu $h_{21} = I_C / I_B$.



Obr. 7. Zapojení SK

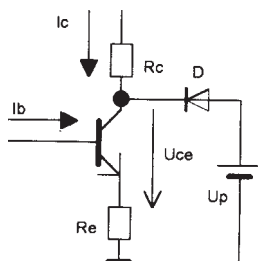
V zapojení SE (obr. 8) bude tranzistor nasycen tehdy, přiblíží-li se napětí U_{CE} napětí U_{BE} . Protože U_{BE} je asi 0,7 V, lze říci, že saturace nastává pro $U_{CE} \leq 0,7$ V. Potom přestává platit $h_{21} = I_C / I_B$. V tomto případě lze nasycení potlačit tzv. antisaturační diodou: pokud se napětí U_{CE} zmenší pod U_{BE} , začne se dioda otevírat a přebírá nadbytečnou část proudu I_B . Aby obvod správně pracoval, je třeba, aby dioda měla co nejmenší prahové napětí. Používají se většinou Schottkyho diody. Je však možné i jiné řešení: nedovolit, aby se napětí U_{CE} mohlo zmenšit pod U_{BE} . Antisaturační dioda se potom zapojí na pomocný zdroj napětí U_P . V okamžiku, kdy se napětí U_{CE} zmenší pod úroveň U_P , začne se dioda otevírat a proud I_C se bude zvětšovat



Obr. 8. Zapojení SE

(bude tak vždy platit vztah $h_{21} = I_C / I_B$). Tím, že se zvětší I_C , bude se spotřebovávat i větší proud na jeho vytvoření a báze se nebude přesycovat. Proud I_B však musí být externě omezen, jinak hrozí zničení tranzistoru.

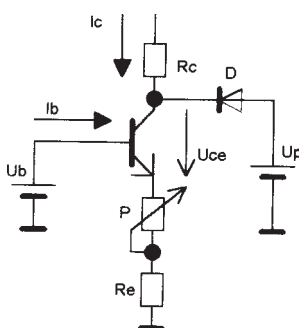
Omezit proud je však možné i na straně výstupní, a to odporem R_E (obr. 9). Potom stupeň pracuje v zapojení SE pro $U_{CE} > U_P$. Pokud by se mělo U_{CE} zmenšit, přechází stupeň do režimu SK. Napětí U_B však nesmí překročit $U_P - 0,7$ V.



Obr. 9. Upravené zapojení SE

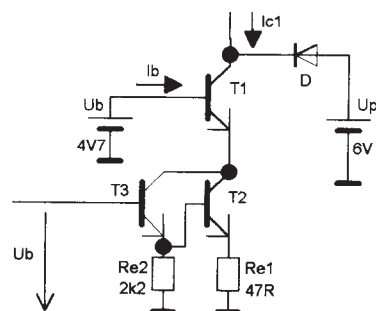
Z hlediska funkce je lhostejné, zvětšuje-li se napětí U_B a tím I_B , nebo zmenšuje-li se U_E . Lze tedy přejít ze zapojení SE na zapojení SB (obr. 7). V tomto případě se jedná vlastně o řízený zdroj proudu s proudovým omezením, daným R_E . Bude-li $U_B < (U_P - 0,7$ V),

je splněna antisaturační podmínka a tranzistor přejde do zapojení SK dříve, než dojde k nasycení. Přechod BC nemůže být polarizován propustně.



Obr. 10. Zapojení SB jako zdroj proudu s nastavením

Nahradíme-li potenciometr tranzistorem, dostaneme téměř definitivní zapojení rozkmitového stupně (obr. 11). Jedná se tedy o zdroj proudu řízený napětím. Bude-li zesilovací činitel h_{21} T2 dostatečně velký, bude $I_B = 0$. Potom $I_{E2} = I_{C2} = (U_B - 0,7$ V) / R_E . Pokud bude h_{21} T1 dostatečný, bude $I_{E1} = I_{C1}$. Protože $I_{E1} = I_{C2}$, bude $I_{C1} = I_{E2} = (U_B - 0,7) / R_E$. Budou-li splněny všechny antisaturační podmínky, tedy $U_{B2} < (U_P - 0,7$ V) a $U_{B1} < U_{C1}$, kde

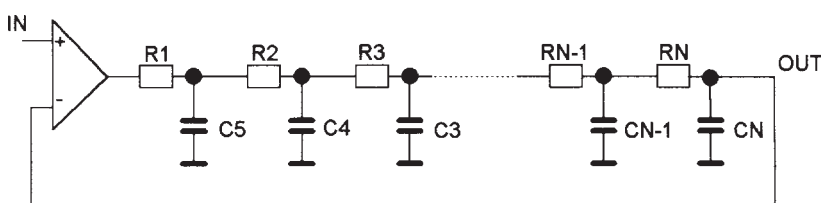


Obr. 11. Definitivní zapojení rozkmitového stupně

$U_{C1} = U_{B2} - 0,7$ V, máme vytvořen základ rozkmitového stupně zesilovače. Výstupní napětí vzniká na zatěžovací impedanci, v tomto případě na vstupní impedanci proudového zesilovače (je to vlastně impedance zátěže, vynásobená proudovým zesílením proudového zesilovače). Zesílení napětíového stupně závisí přímo úměrně na velikosti této impedance. Po výpočtu konkrétních číselných údajů dostaneme definitivní zapojení.

Uvedené údaje platí pro maximální napětí, které je schopen dodat vstupní diferenciální zesilovač. Bez signálu je vstupní napětí do rozkmitového stupně $U_B = 1,9$ V, maximálně může být dvojnásobné (druhý diferenciální tranzistor zcela uzavřen). Maximální proud, dodávaný do proudového zesilovače, je $I_{C1MAX} = (U_{B3} - 1,2$ V) / R_{E1} , což je asi 55 mA. Je to proud, na kterém společně s kapacitou a rychlostí výstupních tranzistorů závisí např. rychlost přeběhu a částečně horní mezní kmitočet zesilovače. Rezistor R_E je také výhodný tím, že linearizuje vstupní charakteristiky T2, T3 a T1 a tak přispívá k malému vlastnímu zkreslení napětíového stupně. Tranzistor T1 musí být velmi rychlý a musí vydržet velké napětí. Výhodně lze použít tranzistory určené pro videozesilovače, např. typy BF469/470 ($U_{CE} = 250$ V, $f_T = 60$ MHz). Při velkém napětovém zesílení tohoto stupně je jasný jeho zásadní vliv na stabilitu zesilovače.

Zesilovač lze pro přiblížení nahradit ideálním zesilovačem a řadou dolních propustí (obr. 12). Mezní kmitočet jednotlivých propustí je vlastně mezní kmitočet jednotlivých zesilovacích stupňů v celém zesilovači. Stabilita závisí na celkovém zesílení ve smyčce zpětné vazby při fázovém posuvu celočíselných násobků 360° . Je-li větší než jedna, zesilovač se rozkmitá. Každá dolní propust posouvá signál nad mezním kmitočtem o 90° . Přitom invertující vstup, na který se přivádí záporná zpětná vazba, má fá-



Obr. 12. Náhradní zapojení zesilovače

zový posuv 180° . Od určité velikosti zesílení existuje tedy na amplitudové a fázové charakteristice kmitočty, na němž je splněna podmínka pro vznik oscilací.

Problém lze řešit tak, že se do cesty signálu zařadí dolní propust, která bude mít mezní kmitočty tak nízký, že ještě při jednotkovém zesílení bude vliv fázového posuvu ostatních parazitních dolních propustí zanedbatelný (nebo alespoň menší než 90°). V tom případě je celkový fázový posuv ve smyčce záporné zpětné vazby 90° (celkově tedy $180^\circ + 90^\circ$) a tak není splněna podmínka pro vznik oscilací. Tato přídavná dolní propust se nazývá kompenzační kapacita (ve schématu na obr. 13 je to C13 a C14). Jejím vlivem se začne zesílení zmenšovat se strmostí 20 dB/dek. od určitého mezního kmitočtu, v praxi asi od 5 až 50 Hz, (obr. 14, 15).

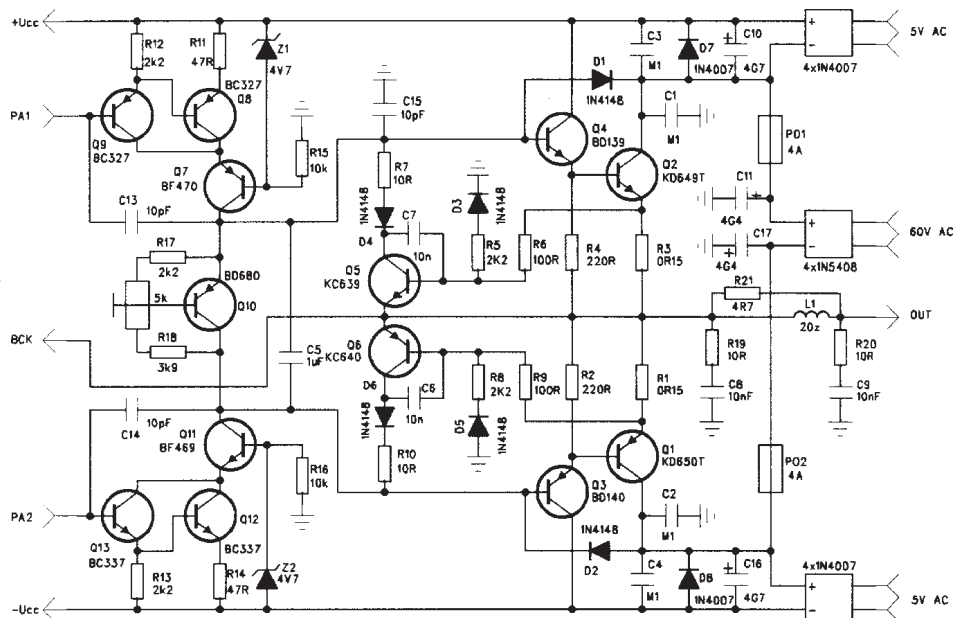
Lze tedy vysvětlit, proč se zkreslení na vysokých kmitočtech zvětšuje. Zmenšuje se zisk, „uzavřený“ ve zpětné vazbě. Rovněž lze vysvětlit, proč zesilovač, který má napětové zesílení mezi vstupem a výstupem malé (např. sledovač se ziskem jedna), je zásadně méně stabilní než se zesílením větším. Větší zesílení znamená menší přenos výstupního signálu s fází k 180° na invertující vstup.

Měření stability

I když by teoreticky bylo možné rozpojit smyčku zpětné vazby, změřit amplitudovou a fázovou charakteristiku a na základě toho nastavit kompenzační kapacitu, v praxi je vhodnější usoudit na stabilitu zesilovače jinak. Lze např. kontrolovat přenos signálu pravoúhlého průběhu. Při vstupním signálu pravoúhlého průběhu se objeví na výstupu na hranách signálu zámkity. Jejich velikost je úměrná jednak rychlostem jednotlivých stupňů, ale také stabilitě. Pokud se zesilovač nachází na hranici stability, jsou zámkity velmi výrazné. Je samozřejmě třeba prověřit zesilovač při nízkých i vysokých kmitočtech. Podle tohoto testu je možné nastavit optimální kapacitu kompenzačních kondenzátorů. Měřit je vhodné při reálné i komplexní zátěži. Zde je vhodné poznamenat, že zesilovač, který má dobrou stabilitu, se vyznačuje věrným přenosem impulsních signálů - to může mít na výsledný dojem daleko větší vliv, než např. velikost harmonického zkreslení.

Proudový zesilovač

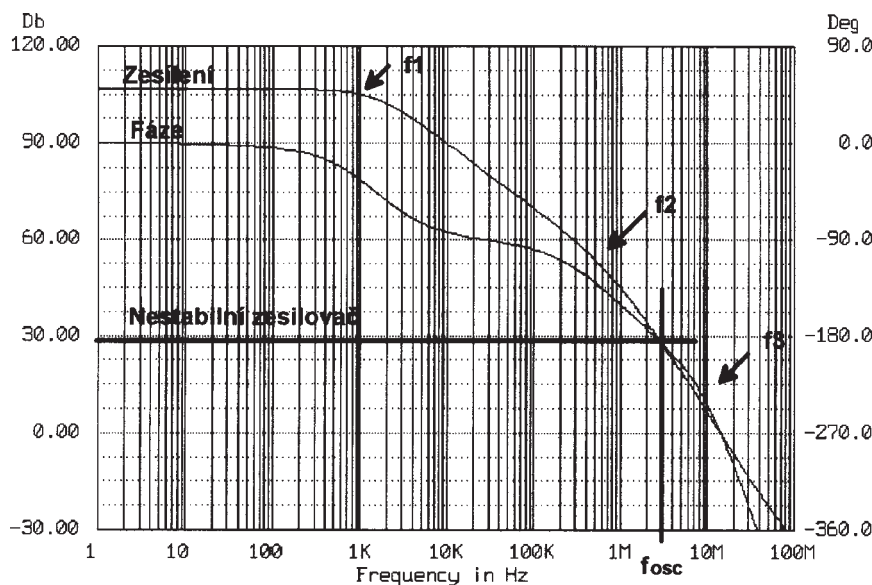
zesiluje proudově výstupní napětí rozkmitového stupně. Závisí na něm maximální proud, který bude koncový stupeň schopen poskytnout. Tranzistory jsou v zapojení SK, napětové zesílení je rovno téměř jedné. Při návrhu tohoto stupně budou jedněmi z hlavních výchozích parametrů velikost výstupního výkonu a zatěžovací impedance. Na jejich základě vypočteme



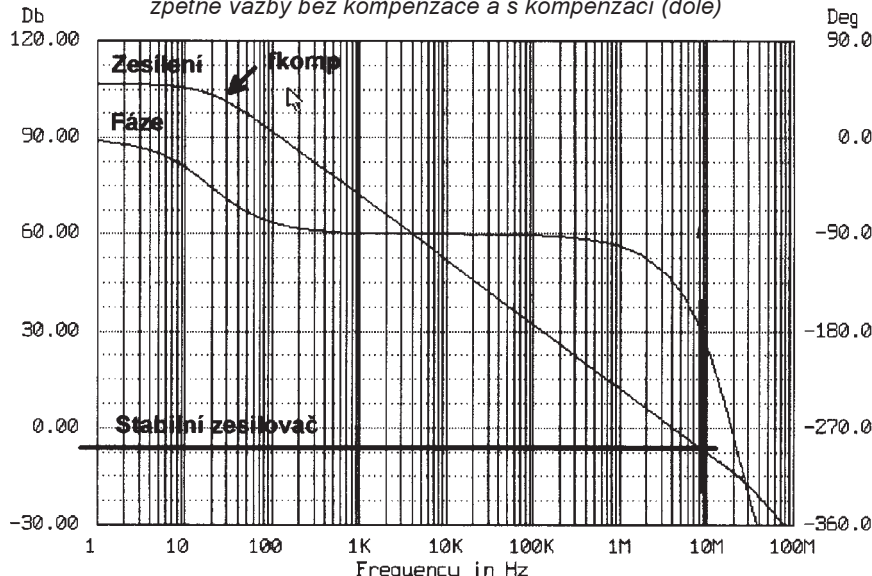
Obr. 13. Koncový zesilovač, část II

výstupní proud a zvolíme napájecí napětí, potom volíme typy výkonových tranzistorů. Tranzistor je třeba volit podle tzv. bezpečné pracovní oblasti (SOAR - safety operating area), což je

v podstatě závislost dovoleného proudu kolektoru I_C na napětí U_{CE} . Dále je třeba vzít v úvahu rychlost (mezní kmitočty a spínací časy) tranzistoru. Rychlost tranzistoru totiž ovlivňuje jed-



Obr. 14, 15. Kmitočtová charakteristika zesilovače s otevřenou smyčkou zpětné vazby bez kompenzace a s kompenzací (dole)



nak velikost dosažitelného (co nejmenšího) zkreslení na vyšších kmitočtech a jednak tzv. příčný proud při vysokých kmitočtech (měl by být též co nejmenší). Pokud se nepodaří najít vhodný typ tranzistoru, který by přijatelně splnil všechny požadavky, je třeba zvážit možnosti sériového a paralelního řazení tranzistorů. V každém případě je výhodné používat tranzistory v Darlingtonově zapojení, zmenší se tím problémy s chlazením budících tranzistorů. Jako vhodné typy lze doporučit např. tranzistory MJ11015/11016 od firmy Motorola, jejichž parametry ($U_{CE} = 120 \text{ V}$, $I_C = 30 \text{ A}$, $P = 200 \text{ W}$) jsou zárukou velmi spolehlivé funkce, dále např. BD87C/88C (120 V, 12 A, 120 W, 10 MHz), pro menší nároky na výstupní výkon a zvláště při zatěžovací impedanci 8Ω vyhoví tranzistory KD649T/650T (120 V, 10 A, 62 W, 10 MHz). Jako budící lze použít tranzistory BF469/470 (250 V, 60 MHz) nebo BD139/140 (100 V, 50 MHz).

Návrh desky umožňuje i takové řešení, kdy nejsou v Darlingtonově zapojení tranzistory výstupní, ale budící. V tomto uspořádání by byly vhodné jako výstupní např. MJ15003/15004 (140 V, 20 A, 250 W) nebo 2N6328/2N6331 (100 V, 40 A, 200 W). Jako budící by byly vhodné např. BD262B/263B (120 V, 4 A, 36 W) nebo BD683/684 (120 V, 4 A, 40 W).

Při značných výstupních proudech a napětích vzniká na výstupních tranzistorech velká výkonová ztráta a je tedy třeba řešit velmi pečlivě i chlazení. I při použití relativně rychlých výkonových tranzistorů zůstávají tyto tranzistory stejně součástkami pomalejšími oproti tranzistorům napětového stupně. Otázka nasycení je tedy důležitá i zde. Při pohledu na zapojení vidíme, že vstupní napětí tohoto stupně nemůže nikdy překročit napětí napájecí, saturace tedy nehrozí. Přitom však jsou napětové poměry voleny tak, aby se výkonové tranzistory otevřely až k hranici nasycení a to bez zbytečných napětových úbytků. Z toho plyne velká účinnost zesilovače.

V souvislosti s výkonovými tranzistory je třeba také otázkou stability zesilovače. Protože moderní výkonové tranzistory mají poměrně vysoký mezní kmitočet (řádově až desítky MHz), může to při nevhodném rozmístění součástek a nevhodně vedených spojích způsobit velké problémy se stabilitou. Výkonové tranzistory by měly být zásadně **přímo na desce s plošnými spoji**. Nelze rozhodně doporučit používání spojovacích vodičů mezi deskou a tranzistorem na chladiči. Je snazší vyřešit problémy s odvodem tepla, než „uklidnit“ nestabilní zesilovač. Další zásadou je nutnost blokovat rozvod napětí kvalitními bezindukčními kondenzátory přímo u pouzder tranzistorů a to jak proti zemi, tak kolektory navzájem. Dále je třeba, aby byl zesilovač stabilní nejen při zatížení jmenovitou odporovou zátěží, ale také

při komplexní zátěži, nahrazující reálné vlastnosti reproduktorových soustav. Ke stabilitě v tomto směru přispívá např. cívka na výstupu zesilovače.

Klidový proud a teplotní stabilizace

Klidový proud koncových tranzistorů posouvá jejich pracovní bod z nuly do lineárnější části vstupní charakteristiky. Velikost klidového proudu se nastavuje rozdílem napětí bází koncových tranzistorů. Jako regulační člen slouží tranzistor Q10 a příslušný odporový trimr. Tento obvod zároveň slouží k teplotní stabilizaci pracovního bodu. Bipolární tranzistory mají poměrně značnou závislost napětí U_{BE} na teplotě (asi 2 mV/K), proto nestačí pouze udržet rozdíl napětí na konstantní úrovni, ale toto napětí se musí zmenšovat s teplotou koncových tranzistorů. Jinak by se při zvýšení teploty zvětšil proud I_C , což by vyvolalo další zvýšení teploty a zesilovač by se tímto procesem sám zničil. Pro spolehlivou funkci se musí klidový proud s teplotou vždy mírně zmenšovat. Snímací tranzistor Q10 je tepelně spojen s koncovými tranzistory.

Klidový proud je nevhodnější nastavovat za současného měření přechodového zkreslení. Při signálu vyššího kmitočtu (např. 10 kHz) připojíme osciloskop na bázi tranzistoru Q4 nebo Q3 a zvětšováním proudu zkreslení odstraníme. Na výstupu se přechodové zkreslení měří obtížně, neboť zpětná vazba je z větší části eliminuje (hlavně při nižších kmitočtech, kdy je zisk „uzavřený“ ve zpětné vazbě, značný). Klidový proud by měl být v rozmezí 30 až 50 mA (měřeno úbytkem na R1, R3). Při nastavování klidového proudu je třeba postupovat pomalu, protože tepelná vazba mezi snímacím tranzistorem a výkonovými tranzistory má relativně velkou setrvačnost. Je možné nechat zahřát zesilovač výkonem asi na 80°C a potom nastavit klidový proud při malém signálu na vstupu.

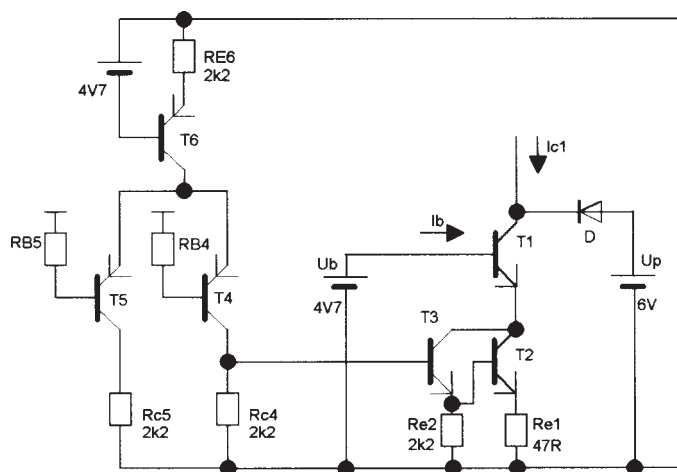
Proudová ochrana

Aby byl zesilovač schopen provozu v reálných podmínkách, kdy např. nelze vyloučit náhodný zkrat na výstupu, musí být doplněn o obvody proudové ochrany. Tato ochrana by měla respektovat bezpečnou pracovní oblast výkonu použitých tranzistorů. Tedy je-li napětí U_{CE} velké, je možné zatížit tranzistor pouze malým proudem a naopak. To je celkem ve shodě s pracovním režimem tranzistoru v zesilovači. Je-li na výstupu malé napětí, potom je na tranzistoru doplněk tohoto napětí do napájecího (tedy velké), zatíží však teče malý proud. Při velkém napětí na zátěži teče tranzistorem velký proud, ale zase je malé U_{CE} . Musíme tedy vyhodnocovat proud tekoucí tranzistorem a napětí U_{CE} .

Obvod, který funkci realizuje, je složen z Q5, Q6 a příslušných pasivních součástek. Jeho funkce zhruba vystihuje požadavky oblasti SOAR: čím větší je napětí na výstupu, tím větší musí být úbytek na snímacím rezistoru, protože R6 a R5 tvoří dělič snímaného napětí. Co se však stane, bude-li napětí na zátěži nulové, ale poteče do ní proud - tedy při fázovém posuvu mezi napětím a proudem? Tento stav vyhodnotí obvod jako nepřiměřeně malou impedanci zátěže a zareaguje. Zůstává otázkou, zda je to v pořádku. Z hlediska výkonového namáhání tranzistoru ano, neboť napětí U_{CE} je velké a proud I_C též. Z hlediska uživatele už méně, protože vzniklo proudové omezení, tedy zkreslení. Tento problém je prakticky neřešitelný, je třeba poněkud předsimenzovat výstupní obvody a spoléhat na reálnost zátěže.

Výpočet některých součástek koncového stupně

Pro příklad výpočtu použijeme schéma na obr. 16. Zvolíme napětí $U_{B1} = 4,7 \text{ V}$, vzhledem k nasycení T3 nesmí tedy napětí U_{B3} být větší než $U_{B1} - U_{BE1} + U_{BC3} = 4,7 \text{ V}$, zvolíme s rezervou 3,8 V, v klidu to bude polovina,



Obr. 16. Výpočet některých součástek zesilovače

1/97

1,9 V. Dále zvolíme proud $I_{C4} = I_{C5} = 0,86 \text{ mA}$, potom $R_{C4} = R_{C5} = (U_{B3}/2) / I_{C4} = 2,2 \text{ k}\Omega$. Dále zvolíme velikost příčného proudu I_{C1} rozkmitového napětového stupně, asi 15 mA. Potom $R_{E1} = (U_{B3} - 1,2) / I_{C1} = 47 \Omega$. Zbývá určit R_{E6} v proudovém zdroji T6, $I_{C6} = I_{C5} + I_{C4} = 1,72 \text{ mA}$; $R_{E6} = (4,7 - 0,7) / I_{C6} = 2,3 \text{ k}\Omega$.

Ve všech výpočtech předpokládáme, že proudové zesílení h_{21} tranzistorů je dostatečně velké - proud do báze pak můžeme vzhledem k proudu emitoru zanedbat, proto lze psát $I_C = I_E$, pro zesílení $h_{21} \geq 50$ už je tato podmínka dostatečně přesně splněna.

Rídící jednotka

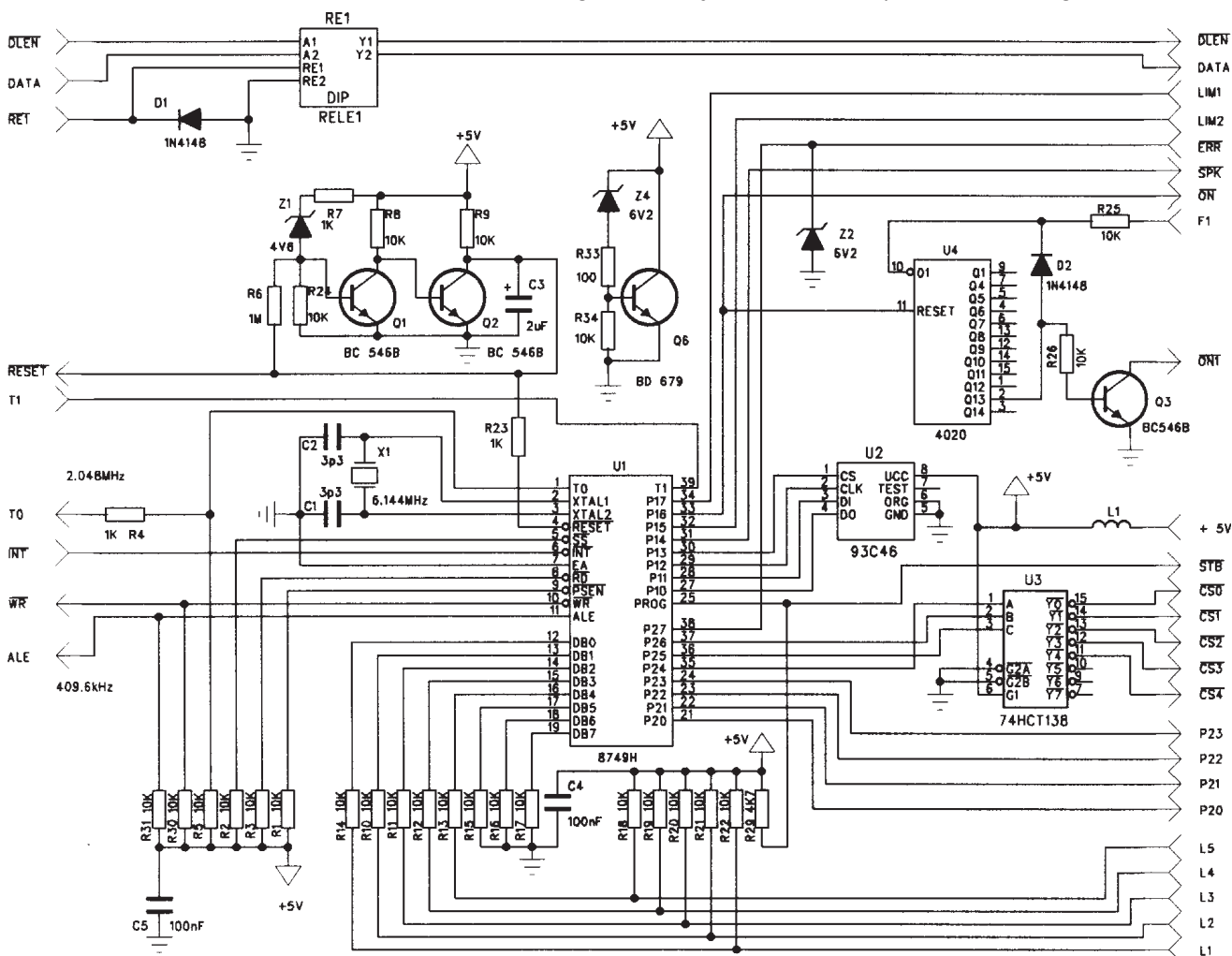
Popis zapojení

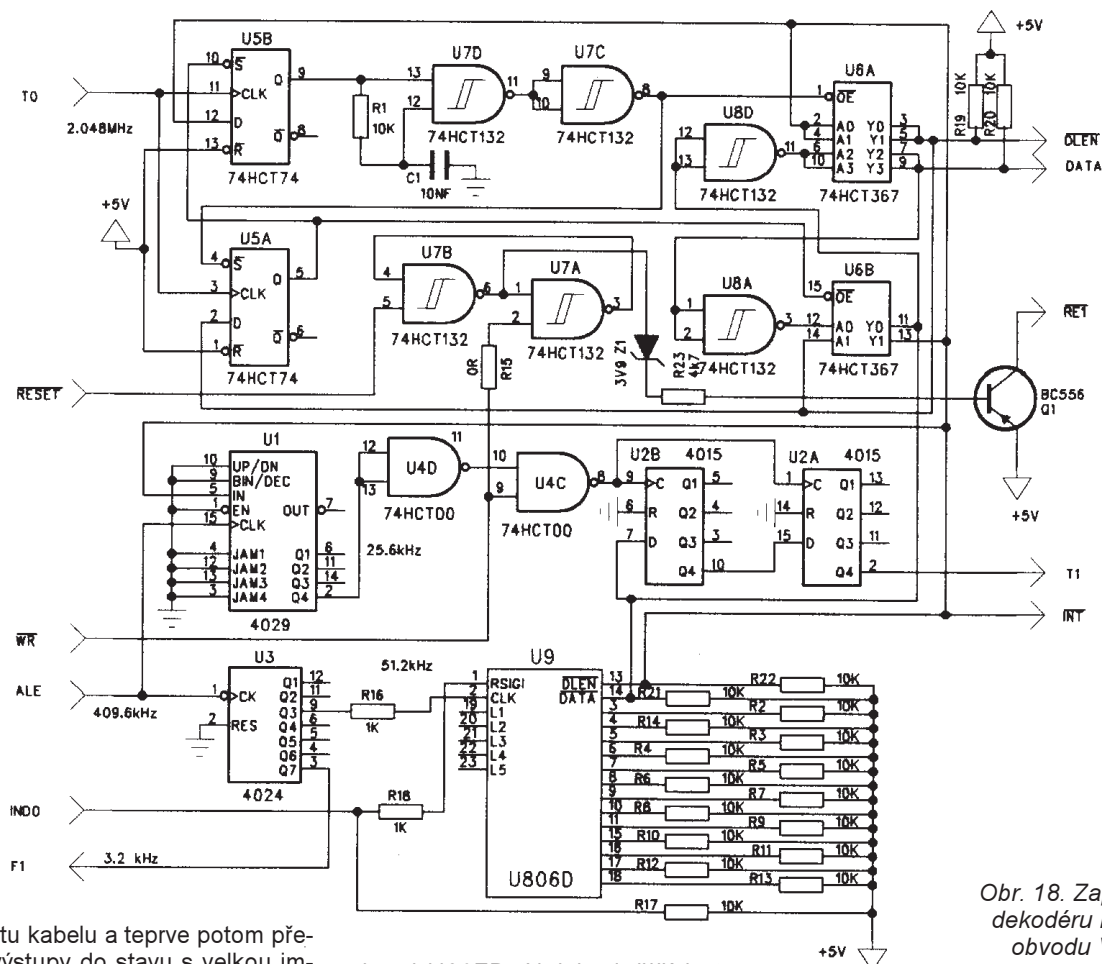
Základní součástí tohoto obvodu je jednočipový mikropočítač typu 8749H, který zajišťuje veškeré řízení zesilovače, zpracovává povely ovládání, řídí čtení a ukládání do paměti EEPROM a obsluhuje displej. Port P1 je využit v režimu bitových operací. Na bity P10 až P13 je připojena externí paměť EEPROM. Ostatní bity řídí tyto funkce: P14 relé reproduktorů, P15 a P17 vstupy kontroly limitace zesilovače, P16 zapnutí přístroje z pohotovostního stavu do stavu zapnutého. Port P2 je předurčen pro rozšiřování vstupů a výstupů systému 8748 a takto je

využíván i zde. Dolní čtyři bity spolu s vývodem PROG tvoří vnitřní pětivodičovou sběrnici, která je rozvedena k jednotlivým expanderům na deskách vstupu, displeje atd. Horní tři bity slouží jako výběrové vstupy jednotlivých expanderů. Bit P27 je vstup ochranného koncového stupně. Brána BUS je využívána pro místní ovládání. Obvod s tranzistory Q1 a Q2 slouží k resetu mikropočítače, dodává signál o úrovni log. 0 při zmenšení napájecího napětí pod 4,7 V. Tranzistor Q6 slouží jako ochrana před velkým napájecím napětím, např. při poruše zdroje. Brána BUS pracuje ve vstupním režimu, proto je „upnutá“ rezistory na +5 V a tlačítky místního ovládání je přes použitou paměť EPROM 2716 připojována na zem.

Dekodér dálkového ovládání je typu U806D. Je to obvod, který byl určen pro DO u televizorů. Jeho přednost je především v odolnosti vůči rušení a příjmu falešných povelů. Obvod umožňuje přímo ovládat napětově řízené potenciometry, předvolby televizoru apod. V našem případě jsou však tyto výstupy nezapojené a využívá se pouze sériového výstupu tohoto obvodu. Na něm jsou přítomny všechny správně přijaté povely v sériovém tvaru na vývodech DLEN a DATA. Vývod DLEN úrovni log. 0 oznamuje začátek

přenosu dat na vývodu DATA. Jednotlivé bity povelu se objevují na vývodu DATA synchronně s hodinovým vstupem U806D s polovičním kmitočtem, tedy jeden bit je přítomen dva hodinové takt. Datové bity jsou vedeny jednak do posuvného registru U2, který zastává funkci vyrovnávací paměti mezi procesorem a dekodérem DO a jednak jsou vyvedeny přes oddělovací obvody U5 až U8 na externí konektor, z něhož lze ovládat další přístroj. Funkci oddělovacích obvodů vysvětluje obr. 14 na str. 10. Signál DLEN se zmenší na úroveň log. 0 se sestupnou hranou hodinového signálu. Současně se začnou na výstupu DATA objevovat jednotlivé bity povelu a výstupy Y_2 a Y_3 obvodu U6A přecházejí ze stavu s velkou impedancí do funkce vysílání dat. Konec aktivity signálu DLEN ukončí také vysílání dat a sběrnice s malým zpožděním, daným členem R1C1, přechází opět do stavu s velkou impedancí. Toto zpoždění je velmi důležité používáme-li pro spojení s jiným přístrojem kabel s větší kapacitou (delší). Log. 0 na konci povelu na DLEN by vyvolala opětovný přenos povelu tentokrát však opačným směrem, tedy do přístroje, a oddělovací obvod by se rozkmital. Proto je na výstupech DLEN i DATA na konci povelu po malou dobu log. 1, která nabi-





Obr. 18. Zapojení dekodéru DO a obvodu V/V

je kapacitu kabelu a teprve potom přecházejí výstupy do stavu s velkou impedancí, kdy jsou „upnuty“ na +5 V pouze rezistory R19 a R20 s relativně velkými odpory.

Přes tento konektor tedy lze také přístroj ovládat, pokud dodržíme formát přenosu stejný jako IO U806D.

Relé RE1 odpojuje vnější sběrnici, aby tehdy, je-li spojeno několik přístrojů a jeden z nich je vypnutý, nebyla sběrnice blokována úrovní log. 0.

Činnost vyrovnávacího posuvného registru je důležitá především proto, že procesor 8749 má prakticky pouze jednu úroveň přerušení. Pracovní náplní je kromě příjmu povelů také ovládání multiplexovaného displeje (v přerušení časovém) - není vždy okamžitě připraven přijmout povel a docházelo by ke ztrátám povelů. Obvod U806D má sice možnost vysílání povelů počkat, to by však zase přinášelo problémy při ovládání dvou a více přístrojů současně. Proto je použit posuvný registr ve funkci vyrovnávací paměti. Čítač U1 je v době, kdy se nevysílá povel, zablokován signálem nastavení předvolby, takže nemůže čítat, v okamžiku začátku povelu začne čítat a přes logické členy U4A a U4B čte datové bity na vývodu DATA do registru. Současně se vyvolává vnější přerušení a po skončení přenosu povelu nebo po ukončení obsluhy časového přerušení se povel čte do mikroprocesoru vstupem T1; bity jsou vysouvány z registru signálem WR.

Jako vysílač DO je vhodný tovární ovladač k TV. Lze použít v podstatě libovolný typ, který používá jako kodér

obvod U807D. Nejvhodnější je typ, který obsahuje ovládání teletextu, u jiného budou pro některé funkce chybět tlačítka. U TV se používá kmitočet oscilátoru 4 MHz, zde je třeba kmitočet upravit na 3,276 MHz (změnou obvodu LC).

Popis programového vybavení

Celý program má délku asi 2 kB, je uložen ve vnitřní paměti EPROM v procesoru 8749. Zde se soustředíme více na popis vlastností programu, než na program samotný. Celý přístroj má na předním panelu pouze sedm ovládacích prvků. Síťový spínač, čtyři ovládací kurzorová tlačítka (vlevo ←, vpravo →, nahoru ↑, dolů ↓) a dvě tlačítka pro přímé řízení hlasitosti, V+ a V-. Jak je zřejmé, celý přístroj se ovládá pomocí tlačítek. Tlačítka ← → se volí ta funkce, která se potom tlačítky nahoru, dolů nastavuje.

Funkce jsou tyto: předvolba 1 až 8, hlasitost, zvolený vstup, regulace basů, regulace výšek, stereofonní vyvážení, fyziologie, nastavení základní citlivosti, maximální hlasitost a nastavení časovače. Tedy celkem 10 funkcí, které jsou v jedné logické úrovni. Informace o průběhu nastavování se zobrazují na 4místném sedmissegmentovém displeji. Na displeji se objevují zkratky příslušné funkce a číselný údaj momentálního nastavení (např.: IP-2, je-li nastaven VSTUP č. 2 a kurzor je na nabídce volba vstupu). Tlačítka nahoru, dolů lze číselný údaj měnit a tato změna se okamžitě promítá do elektrického nastavení dané funk-

ce (např. PL-1 až PL-8 pro předvolbu 1 až 8).

Popis jednotlivých funkcí

Předvolba - nastavuje momentálně zvolenou předvolbu, viz článek Předvolba. Zobrazuje se na sedmissegmentovém displeji, PL-1 až PL-8:

Volba vstupu - lze zvolit jeden ze tří vstupů. Vstupy č. 1 a 2 mají maximální vstupní napětí 5 V, vstup č.3 max. 15 V. Na sedmissegmentovém displeji se zobrazuje IP-1 až IP-4.

Hlasitost - lze zvolit 64 stupňů hlasitosti po 1,25 dB. Při hlasitosti 0 se odpojují reproduktory. Na sedmissegmentovém displeji se zobrazuje L-00 až L-63.

Regulace basů - nastavení basů v devíti stupních po 4 dB. Stupeň 5 je lineární přenos. Na sedmissegmentovém displeji se zobrazuje bs-1 až bs-9.

Regulace výšek - nastavení výšek v devíti stupních po 4 dB. Stupeň 5 je lineární přenos. Na sedmissegmentovém displeji se zobrazuje tr-1 až tr-9.

Vyvážení kanálů - určuje, o kolik se signál v daném kanálu zeslabí oproti druhému. Na sedmissegmentovém displeji se zobrazuje b-00 pro shodnou hlasitost obou kanálů, L-00 až L-31 pro potlačení pravého kanálu, P-00 až P-31 pro potlačení levého kanálu.

Fyziologické řízení hlasitosti - zapíná a vypíná tuto funkci. Na sedmissegmentovém displeji se zobrazuje: F-On nebo F-Of.

Nastavení základní citlivosti - nastavuje základní úroveň, která při nastavení hlasitosti na stupeň 63 způsobí limitaci (omezení) výstupního signálu pro danou úroveň signálu na vstupu. Pro různé úrovně zdrojů signálu je základní citlivost různá. Součet tohoto nastavení s hlasitostí a vyvážením kanálů je skutečná velikost přenosu vstupní jednotky. Na sedmisegmentovém displeji se zobrazuje **S-00 až S-60**.

Nastavení maximální hlasitosti - nastavuje maximální hlasitost, kterou lze zvolit sekvenční volbou tlačítkem V+. Slouží jako ochrana před nechtěným nastavením hlasitosti zesilovače nad určitou mez. Na sedmisegmentovém displeji se zobrazuje **H-00**.

Časovač - Nastavuje čas v minutách, za nějž se přístroj vypne. Je-li nastavena nula, je tato funkce vyřazena. Zobrazuje se na sedmisegmentovém displeji jako **C-00 až C-99**.

Doplňkové funkce

Tyto funkce se nevolí pomocí sekvenční kurzorové volby, ale přímo dálkovým ovládáním nebo současným stisknutím několika tlačítek na panelu. Jsou to :

Přechod do stavu STAND-BY - současně ← +→ nebo na dálkovém ovládání.

Zápis do EEPROM - dvakrát po sobě současně tlačítka vpravo+nahoru nebo na dálkovém ovládání. Zapiše aktuální předvolbu do paměti.

ostatní přístroje povely DO ignorují. Každý ovládaný přístroj má své číslo. Např. ekvalizer č. 1, zesilovač č. 2 atd. Tato volba není dostupná pro ovládání z panelu.

Předvolby

Pro větší komfort obsluhy a univerzálnost přístroje jsou zavedeny tzv. předvolby. Předvolba je souhrn všech funkcí, které lze na přístroji nastavovat. Jsou uloženy v paměti EEPROM a při vypnutí se neztrácejí. Je jich celkem osm. Předvolbu lze vyvolat buď sekvenčně kurzorovými tlačítky, nebo přímo prostřednictvím dálkového ovladače. Předvolby umožňují vytvořit osm autonomních nastavení celého přístroje. Lze tak pro libovolnou předvolbu zvolit libovolný vstup, citlivost, korekce atd. Potom stiskem jediného tlačítka na dálkovém ovladači dostaneme nové kompletní nastavení všech parametrů. Korekce levého a pravého kanálu se nastavují současně a musí být stejné. Při provozu můžeme měnit všechny parametry, pokud je však neuložíme do paměti EEPROM, tak se po novém vyvolání této předvolby nastaví předchozí, nezměněné parametry.

Po zapnutí tlačítkem ON/OFF se přístroj zapne a nastaví se předvolba č. 1. Při zapnutí ze stavu STAND-BY stisknutím libovolného tlačítka na panelu nebo na dálkovém ovládání se nastaví předvolba zvolená naposledy.

Tabulka se seznamem povelů odpovídá tab. 3 na str. 11 s těmito rozdí-

ly: jsou vypuštěny povely 0, 3, 34 až 39 a přidány povely 15 - zapnutí/vypnutí fyziologie, DO, 33 - nastavení max. hlasitosti, DO, 36 - kurzor vlevo (P), 37 - kurzor vpravo, P, 38 - kurzor dolů, P, 39 - kurzor nahoru, P, 40 - hlasitost +, 41 - hlasitost -, oba DO, P, 42 - basy +, 43 - basy -, 44 - balance +, 45 - balance -, 46 - výšky +, 47 - výšky -, 48 - přechod do stavu STAND-BY, všechny DO.

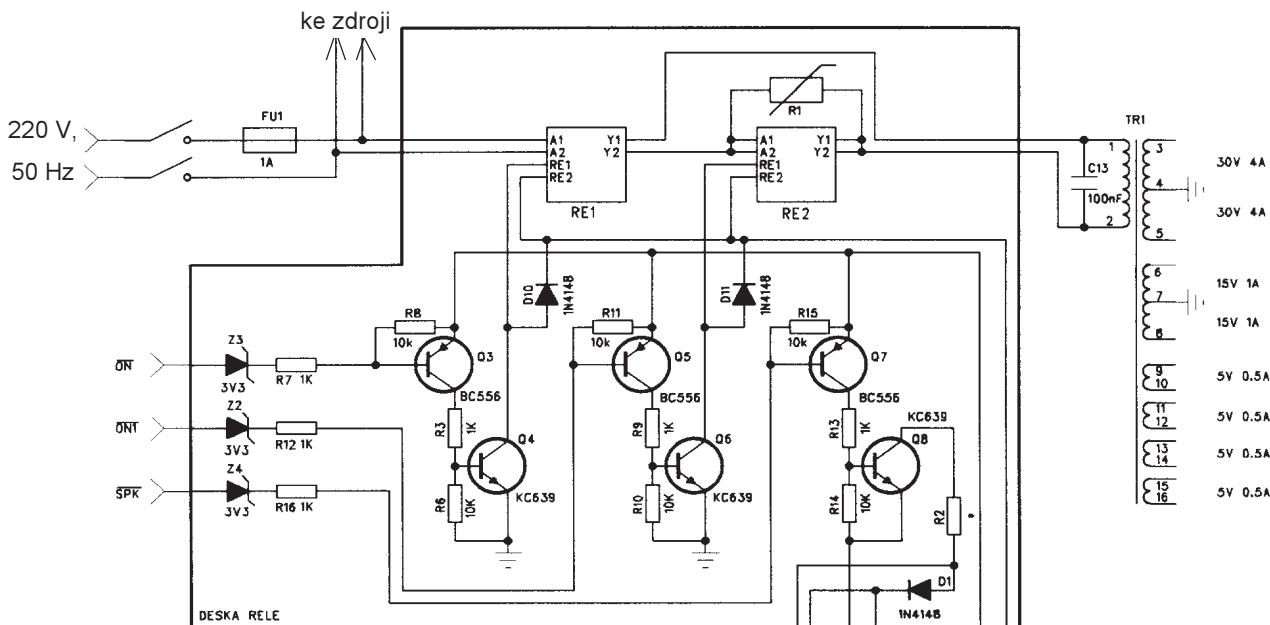
Doplňkové obvody

Pomalý start

Při zapínání relativně velkého transformátoru, napájecího koncový zesilovač, vznikají velké proudové špičky na primárním i sekundárním vinutí. Tyto špičky namáhají především usměrňovací diody a filtrační kondenzátory, popř. mohou způsobit i vypnutí síťového jističe. Proto zapínání probíhá ve dvou fázích. Nejprve se připojí transformátor přes termistor NTC, nabijí se filtrační kondenzátory na podstatnou část jmenovitého napětí a potom se termistor zkratuje - připojí se plné síťové napětí. Tento postup je řízen mikroprocesorem signály ON a ON1.

Zpožděné zapnutí reproduktorů

Po připojení napájecího napětí se reproduktory připojí až po určité době, po ustálení pracovních poměrů zesilovače. Při vypínání se vypnou jako první. Zabrání se tak přechodovým jevům spojeným s lupáním v reproduktorech. Celý proces řídí řídicí jednotka signálem SPK.

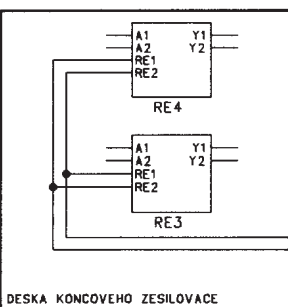


Obr. 19. Zapojení spínacích relé

Vypnutí výstupu - vypne/zapne výstup signálu, současně V+ a V- nebo na dálkovém ovládání.

Nastavení maximální hlasitosti - zvolí okamžitou hlasitost jako maximální, zvětšit hlasitost při tomto nastavení je možné pouze kurzorovými tlačítky. Pouze na dálkovém ovládání.

Selektivní volba - používá se při ovládání několika přístrojů jedním ovladačem. Umožňuje zvolit pouze jeden,



Ochrany koncového stupně

Koncový stupeň má zavedeny tyto ochrany:

- proti překročení mezní teploty koncových tranzistorů (asi 80 °C), signál ERR,
- proti stejnosměrnému napětí na výstupu (chrání reprosoustavu), signál ERR,

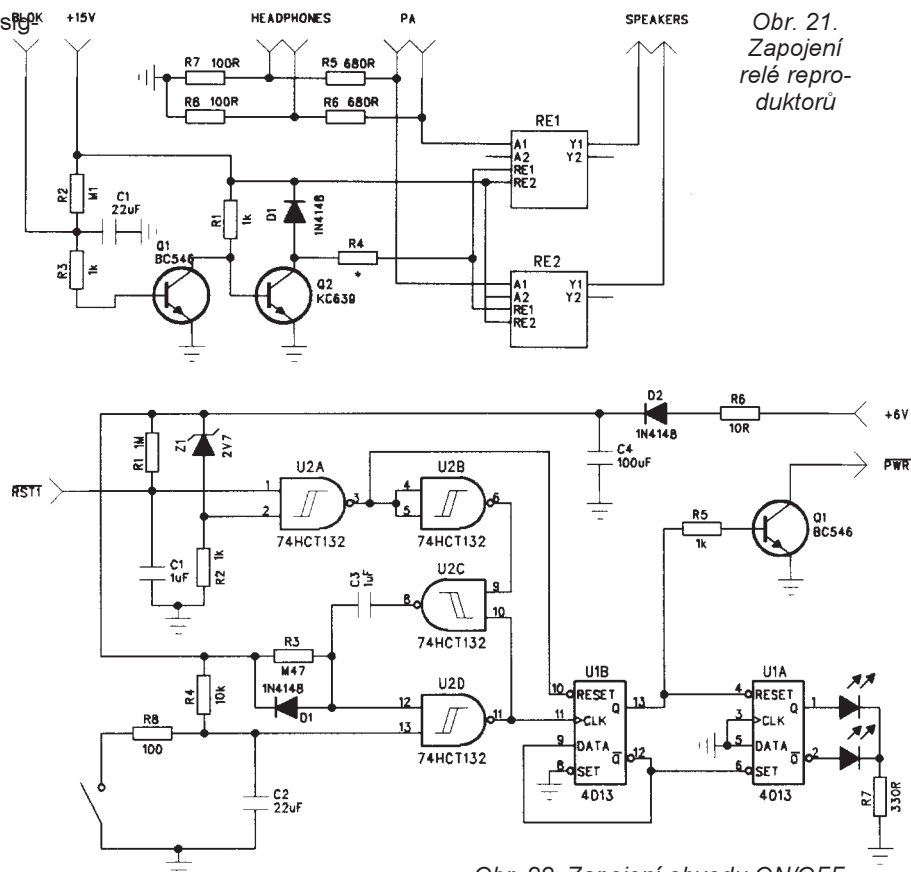
- indikuje limitaci (omezení užitečného signálu), signály LIM1, LIM2.

Výsledky těchto kontrol zpracovává řídicí jednotka, pokud se objeví chybový stav po více než 1 s (kromě limitace), je vyvolán přechod do stavu STAND-BY. Oba kanály mají obvody ochrany samostatně, výstupní logický signál ERR je společný. Limitace je zobrazována odděleně pro oba kanály. Je nastavena na -1 dB před počátkem „ořezávání“ výstupního signálu.

Jako čidla teploty slouží malé tranzistory v plastovém pouzdru, zapojené přechodem BE (propustně) jako dioda; čidlo je přilepeno přímo na pouzdro výkonového tranzistoru. Pro jeden kanál jsou čidla dvě, na obou výkonových tranzistorech, čidla jsou spojena paralelně.

Obvod ON/OFF

Po přivedení síťového napětí se nastaví zesilovač do stavu vypnuto a nad tlačítkem ON/OFF na předním panelu se rozsvítí dvoubarevná LED červeně. Po stisknutí tohoto tlačítka se rozsvítí LED zeleně a zesilovač se uvede do provozu. Při vypínání máme dvě možnosti, přístroj lze vypnout do stavu OFF (tlačítkem ON/OFF), nebo do stavu STAND-BY (dálkovým ovladačem, v činnosti zůstane pouze procesor a dekodér dálkového ovládání). Z tohoto druhého stavu je možné zesilovač opět dálkovým ovladačem zapnout, ze stavu OFF nikoli. Při stavu STAND-BY svítí na panelu pouze zelená LED (nad tlačítkem ON/OFF). Je tedy vidět, že obvody tlačítka ON/OFF jsou pod napětím trvale. Pokud bychom chtěli zesilovač vyřadit z provozu natrvalo, na zadním panelu je síťový spínač, který odpojí od sítě celý



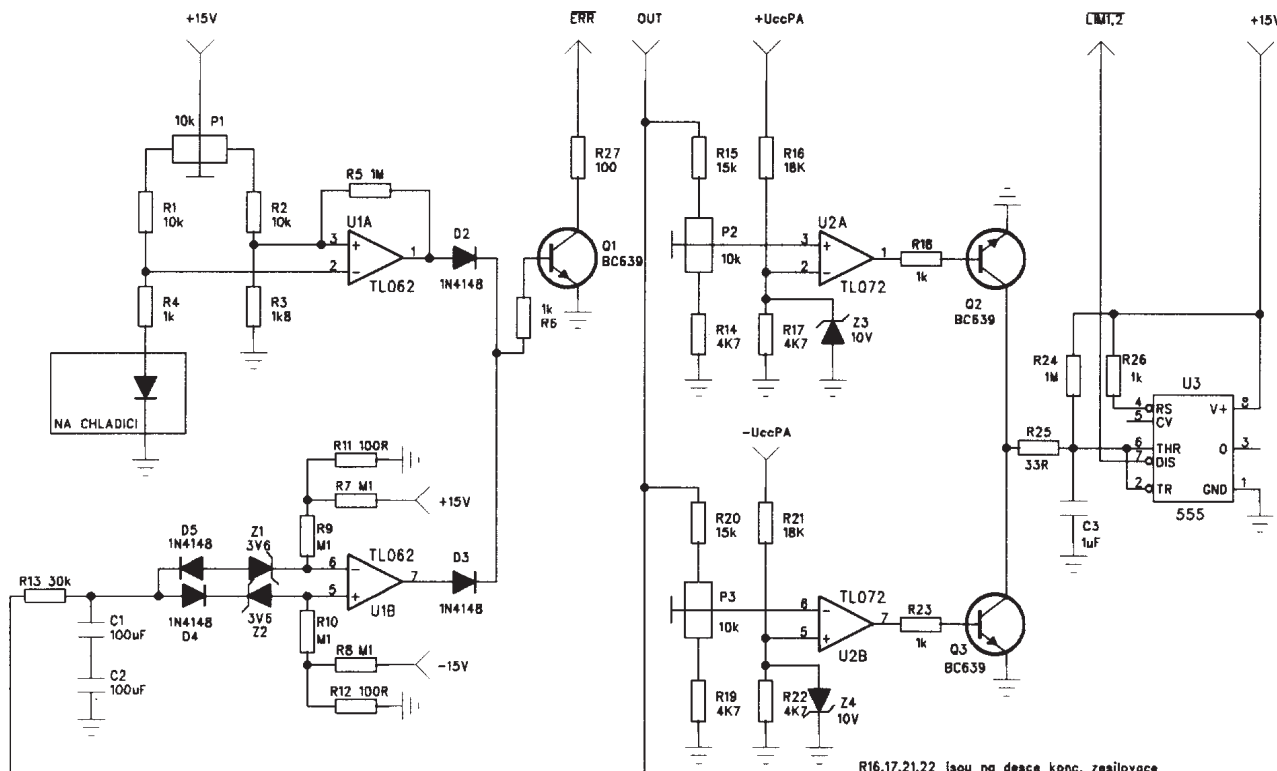
Obr. 22. Zapojení obvodu ON/OFF

přístroj (tento stav je ekvivalentní vytažení síťové šňůry ze zásuvky).

Napájení

Napáječ má dva transformátory: jeden pro koncový stupeň a vstupní jednotku, druhý pro mikroprocesor a logické obvody. Pro co největší odstup signálu od šumu je třeba dodržet zásady správného zemnění a vyhnout

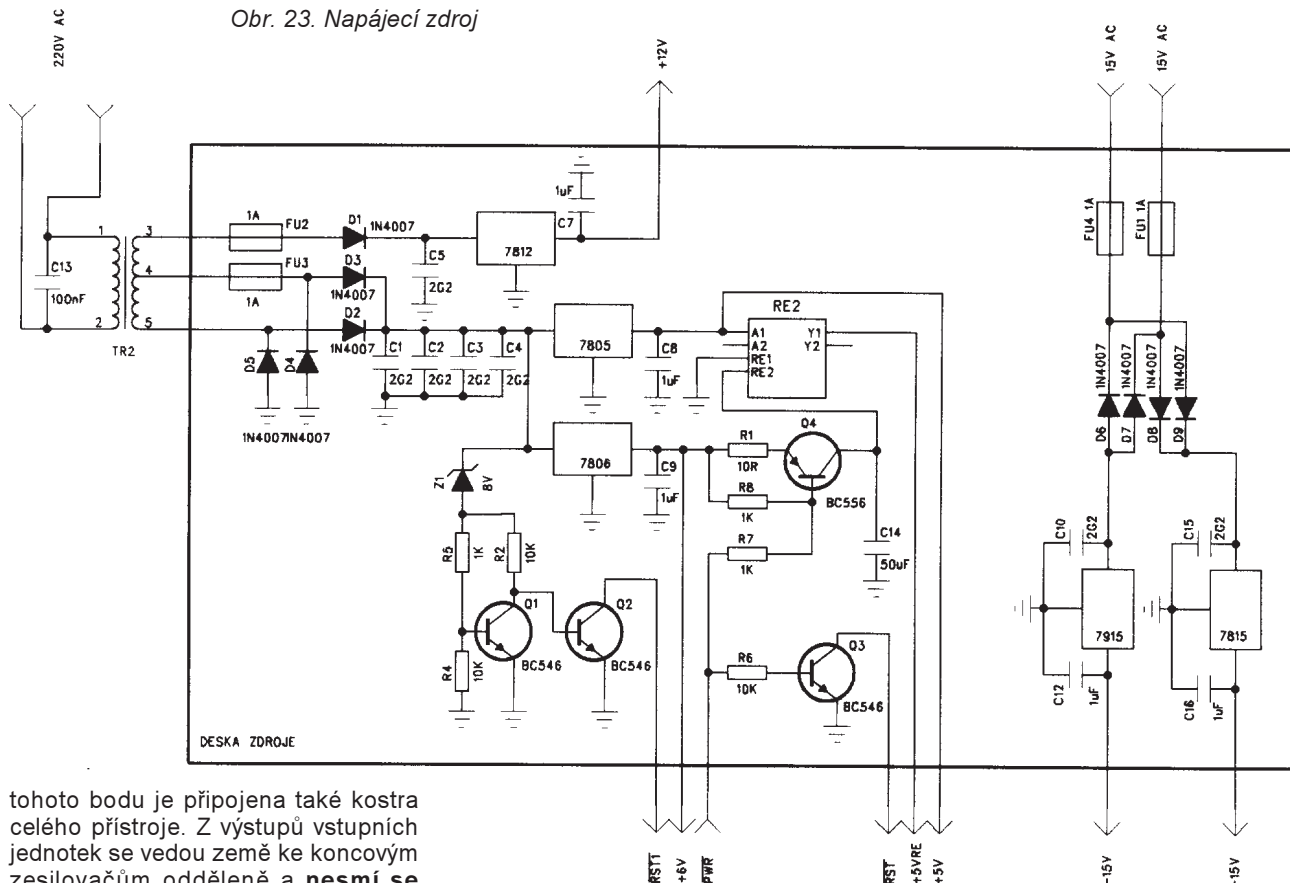
se zemnicím smyčkám, do nichž by se mohla indukovat rušivá napětí. Vstupní jednotky jsou dvě, pro každý kanál jedna, proto jsou jejich země (GNDA) spojeny pouze na vstupním konektoru (viz blokové schéma na str. 29). Je to zároveň referenční bod analogové země a do



R16,17,21,22 jsou na desce konc. zesilovace

Obr. 20. Zapojení obvodu ochrany

Obr. 23. Napájecí zdroj



tohoto bodu je připojena také kostra celého přístroje. Z výstupů vstupních jednotek se vedou země ke koncovým zesilovačům odděleně a **nesmí se spojit navzájem ani připojit k jiné „zemi“**. Koncové zesilovače mají symetrické diferenční vstupy. Země koncových zesilovačů (GNDPA) jsou spojeny pouze na středě sekundárního vinutí napájecího transformátoru a odtud jsou připojeny ke vstupní analogové zemi (GNDA). Proto se nesmí spojit ani výstupní země k reproduktorům. Na zemnění sluchátkové zásuvky se použije pouze jedna výstupní zem. Ovládací obvody a řídicí jednotka mají vlastní digitální zem, připojenou k analogové na desce zdroje. Na odstup má také vliv plocha vstupních obvodů na deskách s plošnými spoji (měla by být co nejmenší) a orientace této plochy vzhledem k rozptylovému poli transformátoru (siločáry nesmí procházet kolmo touto plochou). Jako nejvhodnější se ukazuje ta poloha desky, kdy je deska rovnoběžná s vodorovnou osou transformátoru, kdy siločáry desku neprotínají. To se týká desek koncového stupně. Vstupní jednotky jsou od transformátoru relativně daleko a jsou umístěny rovnoběžně se siločárami. Elektricky lze zmenšit rozptylové magnetické pole menším sycením transformátorů (asi do 1 T) a jádrem z kvalitních plechů.

Napájení +6 V pro obvod ON/OFF je k dispozici ihned po připojení zesilovače k síti. Ostatní napětí až podle stavu přístroje (ON/STAND-BY). Deska napájení generuje signál RST1, který při nedostatečném síťovém napětí blokuje funkci obvodu ON/OFF a tak nedovolí přístroj zapnout.

Parametry zesilovače

Napájecí napětí: 210 až 240 V, 50 Hz.

Příkon: max. 350 W při plném výkonu, max. 8 W při STAND-BY.

Výstupní sinusový výkon (oba kanály současně): 2x 110 W, 4 Ω, bez limitace, napájení 230 V, 50 Hz, 2x 80 W, 8 Ω, bez limitace, napájecí napětí 230 V, 50 Hz.

Jmenovitá zatěžovací impedance: 4 Ω.

Výstupní impedance na 1 kHz: asi 0,05 Ω.

Harmonické zkreslení, výstup. napětí 1 dB pod limitací: 1 kHz, 4 Ω - 0,003 %, 1 kHz, 8 Ω - 0,002 %, 10 kHz, 4 Ω - 0,03 %, 10 kHz, 8 Ω - 0,02 %.

Zvlnění kmitočtové charakteristiky v pásmu 20 Hz až 20 kHz při vstupním signálu 1,55 V, korekce vypnuty: menší než 0,2 dB.

Rychlost přeběhu: 50 V/μs.

Odstup při citlivosti 1,55 V pro limitaci, regulace hlasitosti na plné vybudzení, pro 20 Hz až 20 kHz: 120 dB pro koncový stupeň, 105 dB pro celý zesilovač, korekce vypnuty.

Vstupní impedance vstupů 1, 2: 100 kΩ, vstup 3: 30 kΩ.

Vstupní napětí, vstupy 1, 2: max. 5 V („mezivrcholově“ 10 V), vstup 3: max. 15 V („mezivrcholově“ 30 V).

Regulace basů a výšek: 9 stupňů, -16 až +16 dB po 4 dB, fyziologická: +14 dB na 80 Hz, +12 dB na 12 kHz.

Síťový transformátor

Průřez jádra: 50x40 mm, příkon 400 W.

Primární vinutí: 600 z drátu o Ø 0,6 mm.

Sek. vinutí 2x 28 V: 2x 75 z, Ø 1,4 mm CuL.

Sek. vinutí 2x 15 V: 2x 45 z, Ø 0,7 mm CuL.

Sek. vinutí 4x 5 V: 4x 14 z, Ø 0,5 mm CuL.

Zbytek textu, zapojení displeje a klávesnice, desky s plošnými spoji a přehled zapojení vývodů jednotlivých desek zesilovače bude uveřejněn v Konstrukční elektronice A Radu č. 3 (číslo vyjde 4. června 1997).